# ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM POVOAMENTOS DE EUCALIPTO – CASO DE ESTUDO ÁREA GLOBLAND

**Carolina Ordoño Bernier**

**Ingeniería Técnica Forestal (Explotaciones Forestales)**

**PROYECTO FINAL DE CARRERA**

Orientador: Jordi Garcia-Gonzalo.

Co-orientador: Brigite Roxo Botequim.

Lisboa, 2010

# AGRADECIMENTOS

A elaboração desta tese é o resultado da colaboração de muitas pessoas, é por isto que quero agradecer a todas elas.

Ao meu orientador, Jordi Garcia-Gonzalo e a minha co-orientadora Brigite Botequim, pela ajuda e o interesse prestado em todo momento aos problemas que foram acontecendo durante a realização da tese. Ao meu professor da Universidad de Huelva, Javier Vázquez.

Às minhas companheiras de gabinete: Brigite Botequim, Susete Marques e Andreia Silva em especial, pelo companheirismo e ajuda durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Paulo Fernandes da UTAD pela ajuda prestada em todo momento.

A minha colega Alicia que me acompanhou ao longo do todo o ano, e ao meu colega António, por facilitar o trabalho.

Ao Zé, pela ajuda, apoio e inteira disponibilidade na etapa mais importante.

Aos meus pais, pela paciência.

A todos os que contribuíram e que aqui não são citados.

Este trabalho está inserido no projecto:

**PTDC/AGR-CFL/64146/2006** "Decision support tools for integrating fire and forest management planning" financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia

# RESUMO

Os incêndios são a maior ameaça às plantações de *Eucalyptus globulus* Labill, que representam cerca de 21% da floresta portuguesa e fornecem a matéria prima para a celulose e indústria papeleira. Portanto, é de maior interesse fornecer informação sobre o comportamento do fogo de modo a direccionar o plano de gestão dos Eucaliptos tendo em conta o risco de incêndios. Neste sentido, foi considerado como caso de estudo a área Globland - uma floresta de eucalipto (1000 parcelas povoamentos puros – 11873 ha) situada na região centro de Portugal.

Foram recolhidos dados de inventário das respectivas parcelas. O software FlamMap foi utilizado para avaliar a resistência ao fogo de acordo com quatro tipos de paisagens de povoamentos puros e regulares de eucaliptos com diferentes distribuições de idade (decrescente, crescente, normal e constante) combinados com 3 velocidades de vento diferentes (10km/h, 20km/h e 40km/h) e três cenários meteorológicos baseados em dados recolhidos numa série temporal de xx anos, nomeadamente: reduzido, (percentil 75), controlo (percentil 90), e crítico (percentil 97).

A análise de risco de incêndio realizada, identificou áreas com diferentes níveis de risco de fogo, bem como a paisagem com distribuição de idade risco mais propensa ao fogo, permitindo seleccionar áreas de intervenção prioritária, colocando desta forma em prática o estabelecimento de medidas estratégicas de prevenção ao fogo. Assim sendo, os povoamentos em que é esperado que ocorra fogo de copas, são considerados de intervenção prioritária.

**Palavras chave:** incêndios florestais, prevenção de incêndios, eucalipto, comportamento do fogo, FlamMap.

## RESUMEN

Los incendios son la mayor amenaza que sufren las plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, éstas representam proximamente el 21% de la floresta portuguesa y son la materia prima para la celulosa e industria del papel. Por lo tanto, resulta de gran interés dar toda la información posible sobre el comportamiento del fuego de modo a direccionar la Gestión de los Eucaliptales, teniedo en cuenta el riesgo de incendio. En este sentido, se ha considerado como caso de estudio la área Globland - una floresta de Eucalipto (1000 parcelas de poblaciones puras – 11873 ha) situada en la región Centro de Portugal.

Se trataron datos de inventario de las respectivas parcelas. El software utilizado fue el FlamMap para evaluar la resistencia al fuego de acuerdo con cuatro tipos de paisajes diferentes de poblaciones puras y regulares de Eucaliptos con distintas distribuciones de edad (decreciente, creciente, normal y constante) combinados com tres velocidades de viento diferentes (10km/h, 20km/h y 40km/h) y con tres escenarios meteorológicos basados en datos obtenidos de una serie temporal concreta: reducido (percentil 75), control (percentil 90) y crítico (percentil 97).

El análisis de riesgo de incendio realizado identificó áreas con niveles de riesgo diferentes, así como el paisaje con distribución de edad más susceptible a dicho riesgo. Con estas dos premisas fue posible seleccionar áreas de intervención prioritaria, estableciendo en la práctica medidas estratégicas de prevención contra el fuego. De esta forma, las poblaciones en que se espera la ocurrencia de fuego de copas son consideradas como áreas de intervención prioritaria.


**Palabras llave:** incendios forestales, prevención de incendios, eucalipto, comportamiento del fuego, FlamMap.

## ABSTRACT

Wildfires are the most severe threat to *Eucalyptus globulus* Labill (eucalypt) plantations, that represents about 21% of the forest cover in Portugal and provide key raw material for the pulp and paper industry. Therefore, is of great interest to provide fire behavior information to address wildfire risk in eucalypt management planning. For that purposes, the study was conducted in Globland area - a eucalypt forest located in central Portugal (1000 pure stands - 11873 ha) managed for pulp and paper production was considered.

FlamMap system was run to assess the resistance to fire of different landscape structures. For this purpose, four landscapes structure of regular and pure eucalyptus plantations were created (i.e. young, old, equal and normal forest, in terms of age class distribution) and three meteorological scenarios: reduced (75th percentiles), normal (90th percentiles) and critical (97th percentiles), gathered between along, combined with three different wind speeds (10km/h, 20km/h and 40km/h).

The wildfire risk analysis performed identifies areas with different fire risk levels and the landscape age distribution more prone to fire risk which enable the selection of priority intervention areas and the establishment of strategically measures of fire prevention. Thus, the stands where the occurrence of a crown fire is expected are considered priority intervention areas. Clearly, the knowledge that results from this study will help forest managers to identify the high-risk areas and to develop management priorities in managing fuels in their landscape.


**Keywords:** forest fires, fire prevention, eucalyptus, fire behavior, FlamMap.

# ÍNDICE

**LISTA DE TABELAS ..... 9**

**LISTA DE FIGURAS ..... 10**

**LISTA DE ANEXOS ..... 11**

**CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO ..... 13**

Enquadramento ..... 13

Objectivos ..... 17

**CAPÍTULO II: OS SIMULADORES NA GESTÃO FLORESTAL ..... 19**

2.1 Introdução ..... 19

2.2 Fogos florestais ..... 19

2.3 O Eucalipto na floresta Portuguesa ..... 23

2.4 Simuladores do comportamento do fogo ..... 27

BEHAVEPLUS ..... 29

FARSITE ..... 31

NEXUS ..... 32

VISUAL BEHAVE ..... 34

FLAMMAP ..... 35

2.5 Gestão florestal ..... 37

**CAPÍTULO III: MATERIAL E MÉTODOS ..... 39**

3.1 Caracterização área de estudo ..... 39

3.2 Recolha e tratamento de inputs nos simuladores ..... 40

3.2.1 Topografia ..... 41

3.2.2 Clima ..... 43

3.2.3 Vegetação ..... 50

3.2.4 Inputs simuladores ..... 60

3.3 Simulação do comportamento do fogo ..... 62

3.3.1 Selecção do software ..... 63

3.3.2 Programa FlamMap ..... 63

3.5 Variáveis caracterizadoras do comportamento do fogo (Outputs) ..... 66

3.6 Comportamento do fogo ..... 71

3.7 Apuramento de resultados ..... 72

**CAPÍTULO IV: RESULTADOS e DISCUSSÃO ..... 73**

4.1 Análise do comportamento potencial do fogo..... 73

4.1.1 Taxa de propagação ..... 73

4.1.2 Intensidade da linha de chama ..... 76

4.1.3 Calor libertado por unidade de área..... 79

4.1.4 Síntese variáveis TP, ILC e CL ..... 81

4.2 Análise de ocorrência de fogo de copas..... 82

4.3 Medidas de silvicultura preventiva..... 85

**CAPÍTULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS ..... 87**

**CAPÍTULO VI: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 89**

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Números de incêndios florestais em Portugal e área afectada (ha) (1980-2006) ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 2 Percentagem de floresta ardida em Portugal (1995-2006)**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 3: Área florestal ardida em Portugal e respectiva área de eucalipto, no período 1997 a 2007 ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 4: Classificação de sistemas de simulação de fogo. ... **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 5: Intervalos de dados topográficos na área de estudo**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 6: Conversão humidade..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 7: Dados meteorológicos e hunidades dos combustíveis.**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 8: Teor de humidades e velocidades do vento calculadas a 10 m de altura para os diferentes cenários ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 9: Modelos de combustível propostos..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 10: Relação entre o percentagem de coberto arbóreo e as classes de idade .....**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 11: Ecuações utilizadas para o cálculo dos parâmetros de copa**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 12: Classes de idade ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 13: Classificação da taxa de propagação (Vega, 1987)**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 14: Limites numéricos das classes de perigo do fogo baseado na relação da intensidade de linha de chama e nas actividades de supressão. Adaptado de Alexander e Lanoville (1989)..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabela 15: Variação dos valores máximos da taxa de propagaçao (m/min) em função do cenário meteorológico e da veloidade do vento para cada distribuição de idade.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 16: Variação dos valores máximos da linha de chama (kW/m) em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento (km/h), para cada distribuição de idade.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 17: Variação dos valores máximos do calor libertado (kJ/m$^2$) em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade**Error! Bookmark not defined.**

Tabela 18: Ocorrência de fogo de copas em função do cenário meteorológico e velocidade do vento (km/h), para cada distribuição de idade ..... **Error! Bookmark not defined.**

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Número de incêndios florestais em Portugal e área afectada (ha) (1980-2006)..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 2: Percentagem de floresta ardida em Portugal (1995-2006)..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 3: Distribução das principais florestas em portugal ..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 4: Área florestal ardida em Portugal e respectiva área de eucalipto, no período 1997 a 2007 ..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 5; Distribuição do eucaliptal em Portugal..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 6: Localização da área Globland..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 7: Triângulo do comportamento do fogo. ..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 8: Direcção do vento ..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 9: Testes para a selecção do modelo de combustível..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 10: Tipos de fogos de copas (Finney, 2001)..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 11: Principais parâmetros que influenciam no fogo de copas (Finney, 2006)**Error! Bookmark not defined.**

Figura 12: Distribuição das classes de idade em cada um dos cenários silvícolas**Error! Bookmark not defined.**

Figura 13: Layers parar produzir a pasta paisagem (topografia e vegetação) (Finney, 2003)..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 14: Janela que mostra os parâmetros do comportamento do fogo**Error! Bookmark not defined.**

Figura 15:: Relação entre a taxa de propagação (TP), calor libertado por unidade de área (CL) e intensidade da linha de chama (ILC) expressa através de diferentes curvas característica adaptado de Alexander e Lanoville (1989)..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 16: Variação dos valores máximos da taxa de propagação em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade**Error! Bookmark not defined.**

Figura 17: Variação dos valores máximos da linha de chama em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade ..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 18: Percentagem de área ocupada sobre o total ocupado pelas diferentes intensidades da linha de chama no cenário meteorológico severo (4% de humidade) e a 40 km/h de vento, para cada distribuição de idade..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 19: Variação dos valores máximos do calor libertado (Kj/m$^2$) em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade**Error! Bookmark not defined.**

Figura 20: Percentagem de área que ocupa cada tipo de fogo..... **Error! Bookmark not defined.**

# LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Anexo 2. MAPAS DE INPUTS TOPOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Anexo 3. MAPAS DOS MODELOS DE COMBUSTÍVEL NA ÁREA DE ESTUDO

Anexo 4. MAPAS DE INPUTS DE VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE

Anexo 5. MAPAS DE INPUTS DE VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE

Anexo 6. MAPAS DE INPUTS DE VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Anexo 7. MAPAS DE INPUTS DE VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE

Anexo 8. MAPAS DE CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (kJ/m$^2$) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE

Anexo 9. MAPAS DE CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (kJ/m$^2$) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE

Anexo 10. MAPAS DE CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (kJ/m$^2$) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Anexo 11. MAPAS DE CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (kJ/m$^2$) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE

Anexo 12. MAPAS DE TAXA DE PROPAGAÇÃO (m/min) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE

Anexo 13. MAPAS DE TAXA DE PROPAGAÇÃO (m/min) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE

Anexo 14. MAPAS DE TAXA DE PROPAGAÇÃO (m/min) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL

Anexo 15. MAPAS DE TAXA DE PROPAGAÇÃO (m/min) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE

Anexo 16. MAPAS DE INTENSIDADE DE LINHA DE CHAMA (Kw/m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE

Anexo 17. MAPAS DE INTENSIDADE DE LINHA DE CHAMA (Kw/m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE
Anexo 18. MAPAS DE INTENSIDADE DE LINHA DE CHAMA (Kw/m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL
Anexo 19. MAPAS DE INTENSIDADE DE LINHA DE CHAMA (Kw/m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE
Anexo 20. MAPAS DE TRANSIÇÃO A FOGO DE COPAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE
Anexo 21. MAPAS DE TRANSIÇÃO A FOGO DE COPAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE
Anexo 22. MAPAS DE TRANSIÇÃO A FOGO DE COPAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL
Anexo 23. MAPAS DE TRANSIÇÃO A FOGO DE COPAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE
Anexo 24. MAPAS DE ALTURA DE CHAMA (m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE
Anexo 25. MAPAS DE ALTURA DE CHAMA (m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE
Anexo 26. MAPAS DE ALTURA DE CHAMA (m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL
Anexo 27. MAPAS DE ALTURA DE CHAMA (m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE
Anexo 28. RESULTADOS OUTPUTS DE CADA DISTRIBUIÇÃO DE IDADE (%)
Anexo 29. FOTOGRAFIAS DOS MODELOS DE COMBUSTÍVEL

# CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

## Enquadramento

Entender o comportamento do fogo ao nível da paisagem é importantíssimo para prever o impacto dos incêndios e fazer um plano de gestão florestal adequado. Desenvolver modelos para prever o comportamento dos incêndios é um instrumento para a supressão efectiva do fogo, para reduzir o risco e minimizar os danos. Os modelos de predição do fogo são ferramentas que possibilitam realizar simulações do comportamento do fogo usando dados específicos, como meteorológicos, topográficos e tipo de combustível e o seu estado (Albright and Meisner, 1999). Estes modelos são geralmente compostos por um conjunto de equações, das quais se obtém como solução valores numéricos numa evolução espacial/temporal das diferentes variáveis do fogo, tais como o velocidade de propagação, altura da chama, risco de ignição ou consumo de combustível (Pastor *et al.,* 2003). Existem inúmeros sistemas de classificação dos modelos de predição do fogo (Perry, 1998; Albright and Meisner, 1999; Pastor *et al*., 2003; Johnston *et al*., 2005), de acordo com a natureza das equações para modelar fluxos de energia, diferentes tipos de variáveis ou distintos sistemas fisicos. Cientistas desenvolveram recentemente modelos idênticos para Espanha e Portugal com o intuito de serem utilizados pelos gestores da floresta e do fogo (Fernandes, 1998; Viegas *et al*., 1998; Vega *et al*., 1998).

Em Portugal, mais de 85% da área florestal é ocupada por pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*), sobreiro (*Quercus suber*), e azinheira (*Quercus ilex*) (DGF, 2006). Porém, a composição da floresta é fortemente determinada pelos incêndios florestais. Entre 1975 e 2007 a área total ardida foi aproximadamente 3.8 x$10^6$ hectares, representando 40% da área nacional (Marques *et al.*(Submitted) ). Não obstante, o tipo de cobertura da floresta e o combustível têm um impacto substancial na ocorrência de incêndios (Velez, 1990, Cumming, 2001, Ceccato *et al.,* 2002, Castro *et al* 2003, Marques *et al*. (submitted)) e pode ser manipulado aquando do planeamento de gestão de modo a minimizar os riscos.

Muitos estudos concluíram também que uma redução no combustível e a redução da densidade das copas das árvores reduz substancialmente a probabilidade de ocorrência de incêndios (Graham *et al*., 1999, Agee and Skinner. 2005).

Tradicionalmente, a definição espacial de áreas submetidas a tratamento de combustíveis era baseada no conhecimento empírico da área por parte de gestores e proprietários florestais, e as prioridades identificadas por eles. Nos últimos anos, com os avanços na velocidade de computação, capacidade de armazenamento e capacidades gráficas, têm sido desenvolvidos alguns sistemas integrados de previsão do fogo (Albright & Meisner, 1999; Lopes *et al.,* 2002; Pastor *et al.,* 2003; Salis, 2006). Em Portugal, um número de ferramentas computacionais de simulação foram também desenvolvidas para integrar modelos de fogo de superfície (Martinez *et al*., 1991; Almeida *et al*. 1997; Catry *et at*., 1999; Lopes & Águas, 2000; Lopes *et al*., 2002.). Vários autores propuseram o uso de simuladores de fogo como uma metodologia conveniente para obter a probabilidade de incêndio e os mapas de severidade em função de diferentes condições ambientais e tratamento de redução de combustíveis (Farris et al. 2000; Stratton et al., 2003; Stratton, 2004; Finney 2005; Ager *et al*., 2007; Arca *et al*., 2007; Finney *et al*., 2007; Noonan, 2007; Ager and Finney, 2009). O uso de software como o Farsite (Finney, 1993) ou o FlamMap (Finney *et al*., 2003) permitem a identificão de áreas a serem tratadas com base num conjunto predefinido de regras (por exemplo, áreas de restrições de ordenamento do território, necessidades silviculturais, método de tratamento de combustível) e de comportamento potencial do fogo sob condições meteorológicas críticas.

A modelação de incêndios com exercícios específicos de simulação do comportamento do fogo proporciona uma oportunidade única para examinar como diferentes alternativas de gestão da paisagem podem potencialmente alterar a propagação do fogo. Neste contexto, foi realizada uma revisão bibliográfica para avaliar a capacidade dos sistemas de simulação na modelação com precisão na propagação e comportamento do fogo em paisagens Portuguesas. Diversos softwares de simulação de fogo foram analisados e comparados com o intuito de seleccionar os mais significativos e finalmente usar o mais adequado aos objectivos deste trabalho. Foram, inicialmente, seleccionados os sistemas BehavePlus,

FARSITE e FlamMap. (USDA 1999). Estes centram-se sobre o comportamento do fogo para simular propagação do fogo de superfície (Rothermel, 1972), a propagação do fogo de copa (Rothermel, 1991; Van Wagner, 1977; 1989; 1993), fagulhas, e a humidade do combustível (Nelson, 1984).

O objectivo geral foi isolar e analisar cenários de acordo com três factores importantes de propagação do fogo: estrutura da paisagem, clima e topografia. Para esse efeito, a modelação do incêndio foi realizada com o software FlamMap (USDA, 1999).

Para fins de teste e demonstração, o presente trabalho analisou como caso de estudo a "Área Globland" que consiste num grupo de propriedades pertencentes a empresas de celulose, onde o eucalipto (*Eucalyptus globulus*) é predominante (estende-se por 11.882,14 ha). Foi simulada a propagação e comportamento do fogo em paisagens de eucalipto com quatro distribuições de idades distintas (Decrescente, Crescente, Normal e Constante) desenvolvendo-se múltiplos cenários meteorológicos para efeitos de análise. Este aspecto, permitiu fazer comparações entre os padrões de estrutura de combustível em diferentes paisagens. No total, um conjunto de dados que abrange 1000 parcelas de inventário localizadas numa área de Floresta Portuguesa, seleccionada com base na sua importância ecológica e sócio-económica, foram utilizadas para detectar diferenças significativas nas interacções paisagem (idade da distribuição eucaliptos)-fogo.

Especificamente, foi simulada a propagação do fogo em Portugal em diferentes paisagens de eucalipto, cada uma com uma estrutura correspondendo a distribuição de idade e respectivo modelo de combustível diferente; Foi analisado como as condições meteorológicas (chuva e vento) afectam a propagação do fogo nestas paisagens - foram aplicados três cenários meteorológicos identificados como: Reduzido, Controlo, e Crítico para examinar a influência do clima; e foi exploradas a variação espacial entre os incêndios provocados em diferentes partes da paisagem. O conjunto de variáveis testadas foram: topográficas (orientação, elevação e declive), biométricas (modelo de combustível de superfície, coberto arbóreo, altura

do povoamento, altura da base da copa e densidade da copa), e meteorológicas (temperatura, humidade relativa e velocidade do vento) para se calcular as características do comportamento do fogo , prever o comportamento do fogo e simular o crescimento de fogo, respectivamente. A estimativa de alguns parâmetros de entrada (inputs) como, humidade do combustível, modelos de combustível e parâmetros de copas (densidade de coberto, etc...), foram efectuadas com recurso a modelos específicos desenvolvidos em Portugal. (Fernandes *et al*., 2009; Cruz, 2007; Viegas *et al*., 1998).

Basicamente, o FlamMap produziu outputs da intensidade da linha da chama e comprimento da chama. Estes mapas foram avaliados para identificar características do povoamento e padrões métricos espaciais de áreas propensas a incêndios. Além disso, as características de comportamento do fogo em cada pixel na paisagem raster calculado com FlamMap foram combinadas com informações sobre a probabilidade de ocorrência de incêndio e de valor ecológico e socioeconómicas de cada pixel.

Os cálculos de comportamento do fogo forneceram informações para comparar a distribuição espacial de povoamentos florestais em paisagens de eucalipto com diferentes distribuições de idades para identificar os combustíveis “perigosos” e os correspondentes dados biométricos do povoamento de modo a apoiar a prevenção de incêndio nas áreas de povoamentos de eucalipto. A modelação de propagação do fogo possibilitou a obtenção para a área de estudo de mapas com a previsão de perímetros de fogo, mapas de potencial de fogo de copas e mapas com a intensidade da linha de fogo das quatro paisagens.

Os simuladores forneceram recursos tanto para a representação consistente do comportamento do fogo como para a validação da predição espacial de incêndios na “Área Globland”. Os resultados deste estudo podem ser usados para ajudar os gestores da floresta e dos incêndios a modificar o actual modo de agir, identificando melhor os impactos dos incêndios. Claramente, os resultados irão ajudar os gestores a identificar as áreas de alto risco e a definir prioridades de gestão de combustíveis

na paisagem. Pelo exposto, o presente estudo será fundamental para as actividades de planeamento da gestão dos incêndios florestais de forma inovadora e eficaz e será valioso para tratar o evento mais catastrófico da floresta em Portugal.

## Objectivos

O presente trabalho integra-se numa das tarefas que compõem o projecto "*Decision support tools for integrating fire and forest management planning*"; modelação da propagação e comportamento do fogo. Assim, o objectivo do trabalho é avaliar e melhorar a eficácia de métodos para integrar tratamentos de combustível na gestão florestal e também a investigação e desenvolvimento de métodos que possam ser posteriormente usados nas Florestas portuguesas.

Tendo em conta que o combate aos incêndios é mais difícil, ineficaz e dispendioso do que a prevenção, e que os processos de planeamento da gestão do fogo e da gestão da floresta se desenvolvem de forma independente, o trabalho pretende ser um auxílio na prevenção dos incêndios florestais. Considera-se também que é uma ajuda de grande utilidade para que as duas áreas de conhecimento, gestão do fogo e da floresta, sejam integradas de maneira conjunta.

Deste modo, os principais objectivos deste trabalho são:

1. A realização de uma pesquisa bibliográfica sobre softwares de simulação do comportamento do fogo existentes a nível Internacional e de Portugal, e também, resumir as suas potencialidades. Um estudo mais aprofundado do simulador seleccionado - FlamMap e das suas aplicabilidades na gestão florestal.

2. A classificação do comportamento do fogo na Área Globland com base em quatro cenários de distribuição das classes de idade a nível do povoamento: cenário decrescente (área ocupada na sua maioria por classes de idade mais jovens), crescente (área ocupada na sua maioria por classes de idade mais velhas), normal (área ocupada na sua maioria por classes de idade centrais, diminuindo a área

ocupada por classes extremas) e constante (área ocupada em cada classe de idade constante), mantendo as condições topográficas (exposição, declive, altitude) e climáticas inerentes ao local.

3. A elaboração de mapas correspondentes ao comportamento potencial do fogo em cada distribuição de classe de idade, baseados nos parâmetros de intensidade da linha de chama obtidos com o Programa FlamMap.

4. A elaboração de tabelas de dados em que esteja toda a informação relativa ás simulações realizadas na área, com os dados de entrada nos simuladores INPUTS e os parâmetros obtidos das simulações OUTPUTS (e.g. intensidade da frente de chamas e taxas de propagação). Com base nestes dados pretende-se estabelecer relações entre os mesmos de modo a caracterizar o comportamento do fogo a partir de as características dos povoamentos.

Com vista a alcançar estes objectivos, foi usada a base de dados correspondente aos inventários realizados pela CELBI (empresa florestal dedicada a produção de pasta de papel a partir de Eucalipto).

A área de estudo encontra-se na sua maior parte na Chamusca (na Região de Lisboa e Vale do Tejo). Está inserida num conjunto de terras de diferentes proprietários que se uniram com a finalidade de ter uma melhor gestão. A área tem mais de 1000 povoamentos que se estendem sobre 11873 ha. Os dados iniciais foram devidamente processados, através de software informático, essencialmente Excel e ArcGIS, em função das expectativas pretendidas e necessidades do trabalho. Da transformação da informação contida na base de dados inicial, resultaram quatro diferentes distribuições em termos de distribuição classes de idade (crescente, decrescente, normal e constante) para simular o comportamento da área Globland em cenários distintos em termos de estrutura da paisagem.

# CAPÍTULO II: OS SIMULADORES NA GESTÃO FLORESTAL

## 2.1 Introdução

O diagnóstico da variabilidade e propagação espacial dos incêndios florestais num território precisa da disponibilidade de uma base técnico-científica, desde a qual se possa ajudar e/ou sustentar a tomada de decisões. A disponibilidade de softwares informáticos nos quais se integra o conjunto de variáveis que identificam a propagação e emissão energética das chamas, constitui um elemento de apoio às estratégias de defesa da superfície florestal frente a grandes incêndios florestais.

A crescente procura de ferramentas de simulação com integração das variáveis do meio: climatológicas, ecológicas, florestais e topográficas, por parte das administrações, empresas e organismos responsáveis pelos trabalhos de prevenção e/ou extinção de incêndios florestais, implica um aumento no conhecimento, adaptação e uso de produtos referenciados espacialmente para a tomada de decisões. As capacidades operacionais que disponibilizam uma boa informação de partida (“inputs”), convertem estas ferramentas em suportes de verdadeira utilidade futura nos programas de defesa contra incêndios florestais (Rodríguez *et al.*, 2010).

## 2.2 Fogos florestais

Todos os anos, os incêndios florestais causam danos em milhões de hectares por todo o mundo. Sendo o fogo, um dos factores mais relevantes na degradação da qualidade ambiental dos nossos ecossistemas.

Existem dois factos básicos que parecem ter influenciado na ocorrência do fogo, em especial na área mediterrânica: por um lado, o aumento da população, que provoca uma maior pressão sobre as áreas florestais, pela procura de terras de cultivo e pastoreio numas regiões e de terras destinadas ao lazer em outras. Por outro lado, as flutuações climáticas fazem aparecer longos períodos de seca que acrescem e estendem no tempo e no espaço o perigo de incêndios. Para haver ocorrência de um incêndio florestal são necessárias condições propícias, nomeadamente existência de vegetação combustível, condições meteorológicas adequadas e fonte de ignição (Vélez, *et al*., 2000).

A origem do fogo pode ser tanto natural (causado pelos raios das trovoadas, erupções vulcânicas, faíscas (provocadas pela queda de pedras, etc.) como de origem humana, que pode ser acidental (em parques de campismo, na pastorícia, nas queimadas, acidentes rodoviários, descuido com cigarros, com fósforos, foguetes) como de forma intencional (interesse económico pessoal, interesse económico indirecto, satisfação pessoal, perturbações mentais e imaturidade).

Portugal é o país mais afectado pelos incêndios florestais ao nível da Europa. Arderam devido aos fogos, desde 1980, uma média de 120 mil hectares por ano (Figura 1). As últimas estatísticas comprovam que cada vez há mais áreas ardidas e mais ignições (Tabela 1).

*Tabela 1: Números de incêndios florestais em Portugal e área afectada (ha) (1980-2006)*

*Fonte: http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/Resource/pdf/estatisticas/dgrf-totaisnacional-1980-2006.pdf*

| Ano | Ocorrências | Área Ardida | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Povoamentos | Matos | Área Total |
| 1980 | 2.349 | 29.215 | 15.036 | 44.251 |
| 1981 | 6.730 | 63.650 | 26.148 | 89.798 |
| 1982 | 3.626 | 27.436 | 12.121 | 39.556 |
| 1983 | 4.539 | 32.428 | 15.383 | 47.811 |
| 1984 | 7.356 | 26.578 | 26.131 | 52.710 |
| 1985 | 8.441 | 79.440 | 66.815 | 146.254 |
| 1986 | 5.036 | 58.612 | 30.910 | 89.522 |
| 1987 | 7.705 | 49.848 | 26.420 | 76.269 |
| 1988 | 6.131 | 8.627 | 13.807 | 22.434 |
| 1989 | 21.896 | 62.166 | 64.071 | 126.237 |
| 1990 | 10.745 | 79.549 | 57.703 | 137.252 |
| 1991 | 14.327 | 125.488 | 56.998 | 182.486 |
| 1992 | 14.954 | 39.701 | 17.310 | 57.011 |
| 1993 | 16.101 | 23.839 | 26.124 | 49.963 |
| 1994 | 19.983 | 13.487 | 63.836 | 77.323 |
| 1995 | 34.116 | 87.554 | 82.058 | 169.612 |
| 1996 | 28.626 | 30.542 | 58.325 | 88.867 |
| 1997 | 23.497 | 11.466 | 19.068 | 30.535 |
| 1998 | 34.676 | 57.393 | 100.975 | 158.369 |
| 1999 | 25.477 | 31.052 | 39.561 | 70.613 |
| 2000 | 34.109 | 68.646 | 90.958 | 159.605 |
| 2001 | 26.533 | 45.318 | 66.532 | 111.850 |
| 2002 | 26.488 | 65.160 | 59.251 | 124.411 |
| 2003 | 26.195 | 286.055 | 139.671 | 425.726 |
| 2004 | 21.870 | 56.109 | 73.430 | 129.539 |
| 2005 | 35.697 | 213.517 | 124.745 | 338.262 |
| 2006 | 19.929 | 36.323 | 39.187 | 75.510 |
| MÉDIA | 18.042 | 63.304 | 52.318 | 115.621 |
| MÉDIA (10 ANOS) | 20.856 | 70.280 | 59.176 | 129.457 |

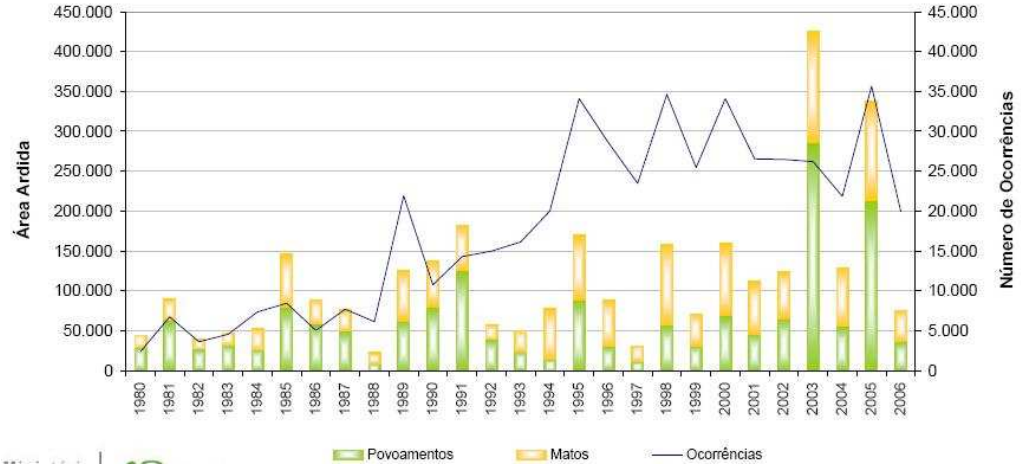



*Figura 1: Número de incêndios florestais em Portugal e área afectada (ha) (1980-2006)*

*Fonte: http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/Resource/pdf/estatisticas/dgrf-totaisnacional-1980-2006.pdf*

Os incêndios em Portugal constituem um fenómeno que se tem agravado nas últimas décadas, sendo assim a principal ameaça à riqueza florestal do país e representando cada ano altos danos e perdas económicas, sociais e ambientais (Tabela 2, Figura 2).

*Tabela 2 Percentagem de floresta ardida em Portugal (1995-2006)*

*Fonte: http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/Resource/pdf/estatisticas/dgrf-totaisnacional-1980-2006.pdf*

| Ano | Floresta Ardida (%) | Espaços Florestais Ardidos (%) |
|---|---|---|
| 1995 | 2,6% | 3,1% |
| 1996 | 0,9% | 1,6% |
| 1997 | 0,3% | 0,6% |
| 1998 | 1,7% | 2,9% |
| 1999 | 0,9% | 1,3% |
| 2000 | 2,0% | 3,0% |
| 2001 | 1,4% | 2,1% |
| 2002 | 1,9% | 2,3% |
| 2003 | 8,5% | 7,9% |
| 2004 | 1,7% | 2,4% |
| 2005 | 6,4% | 6,3% |
| 2006 | 1,1% | 1,4% |

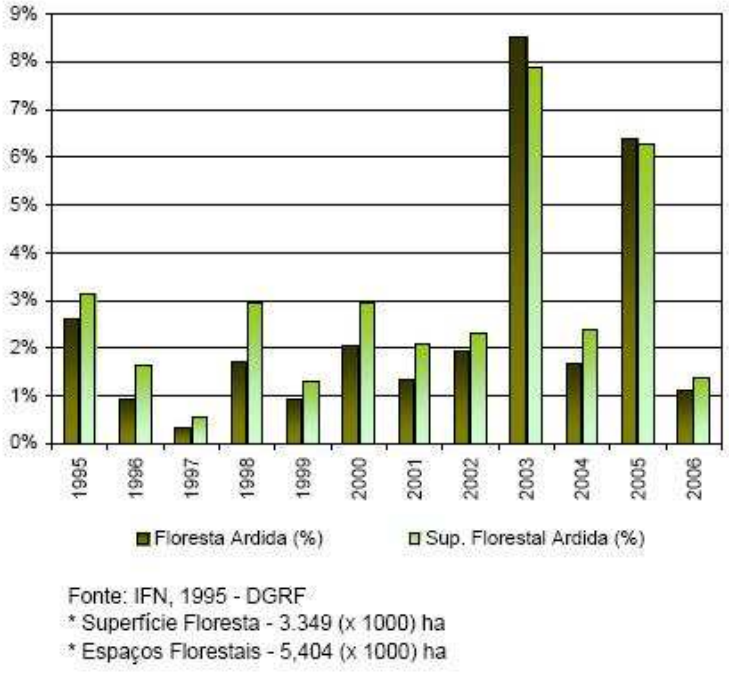



*Figura 2: Percentagem de floresta ardida em Portugal (1995-2006)*

*Fonte: http://www.afn.min-agricultura.pt/portal/dudf/Resource/pdf/estatisticas/dgrf-totaisnacional-1980-2006.pdf*

Sabe-se que a maior parte das ignições em Portugal estão associadas a causas humanas, à semelhança do que acontece em outros países do Sul da Europa. Um relatório recente da Direcção-Geral dos Recursos Florestais (DGRF, 2006) mostra que apenas 3% dos fogos investigados com sucesso entre 2000 e 2005 tiveram causa natural (relâmpagos), tendo as restantes causas origem humana.

Ainda existem características ambientais determinantes na distribuição geográfica das florestas e na composição da mesma. Em Portugal a floresta tem uma grande importância, ocupando cerca de 27% do território continental (DGF, 2001). O fogo é o agente causal do maior problema da floresta nacional na actualidade, por isso é que, o investimento privado na produção florestal é muito limitado, pelo elevado risco de incêndio florestal, particularmente nas espécies de ciclo mais longo.

## 2.3 O Eucalipto na floresta Portuguesa

Os três principais tipos de floresta no país são os povoamentos de pinheiro bravo, os montados de sobro e as plantações de eucalipto, os quais reflectem na sua história mais recente. Até os últimos anos, a utilização dos espaços florestais pelas populações rurais em Portugal tem estado ligada à agricultura de subsistência (e.g. limpava-se o mato para fornecer material para o gado ou para combustível). O progressivo desaparecimento desta economia veio permitir a expansão da floresta de pioneiras (e.g. pinheiro bravo) e deixar vastas áreas florestais vulneráveis aos incêndios devido à acumulação de combustível.

A especificidade da floresta Portuguesa é marcada por uma origem recente e uma forte intervenção humana. Portugal é o país da Europa em que a transição entre a desarborização e a reflorestação foi mais rápida: a área de floresta, que era de 4 a 7% em 1870, passou, num século, para quase 30% do território continental. Esta transição coincidiu com o abandono da agricultura e o êxodo rural sem que se tenha consolidado uma tradição de gestão e cultivo das matas, como há na Europa central. A excepção é a gestão do montado que mantém a multifuncionalidade agro-silvo-pastoril.

Portugal é o país da União Europeia com mais floresta nas mãos de proprietários privados que, em grande parte, se defrontam com a sua baixa rentabilidade. Este problema tem particular incidência na floresta do Norte e do Centro, assim como em algumas áreas serranas do Sul, traduzindo-se num deficit de gestão das áreas florestais a que se vem juntar o crescente abandono de muitas áreas agrícolas (Figura 4).

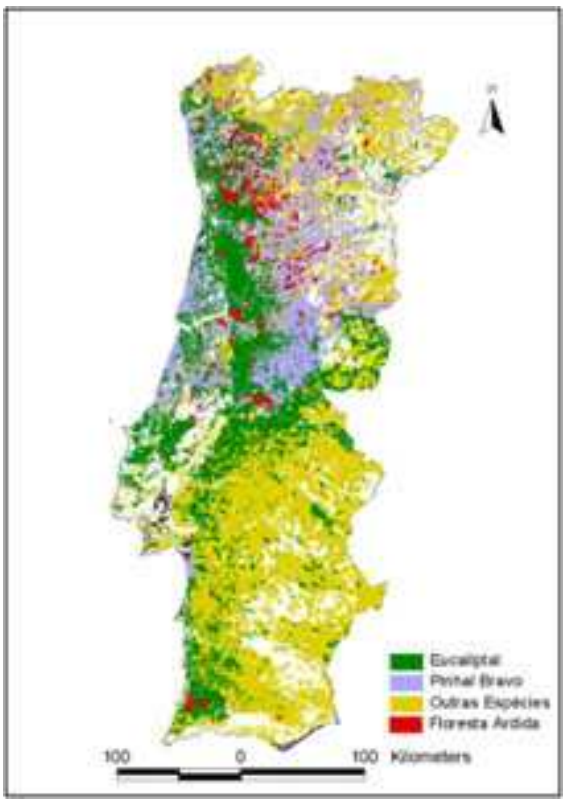



*Figura 3: Distribuição das principais florestas em portugal*

Os incêndios afectam diversas espécies, das quais podemos  estacar o eucalipto. No período de dez anos (1997 – 2007), de acordo com dados referentes ao APA (Agência Portuguesa do Ambiente) (Cardoso Pereira, 2003), o eucalipto acompanhou a tendência dos incêndios em Portugal, com maiores áreas ardidas em 2003 e 2005 (tabela 3 e Figura 4).

*Tabela 3: Área florestal ardida em Portugal e respectiva área de eucalipto, no período 1997 a 2007*

| | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| FLORESTA TOTAL | 10989 | 55006 | 29760 | 65791 | 43433 | 62450 | 274154 | 53775 | 119556 | 35002 | 9237 |
| EUCALYPTUS | 1433 | 4817 | 2353 | 7325.55 | 4836.1 | 6953.54 | 30525.9 | 9333 | 65680 | 12895 | 2318 |

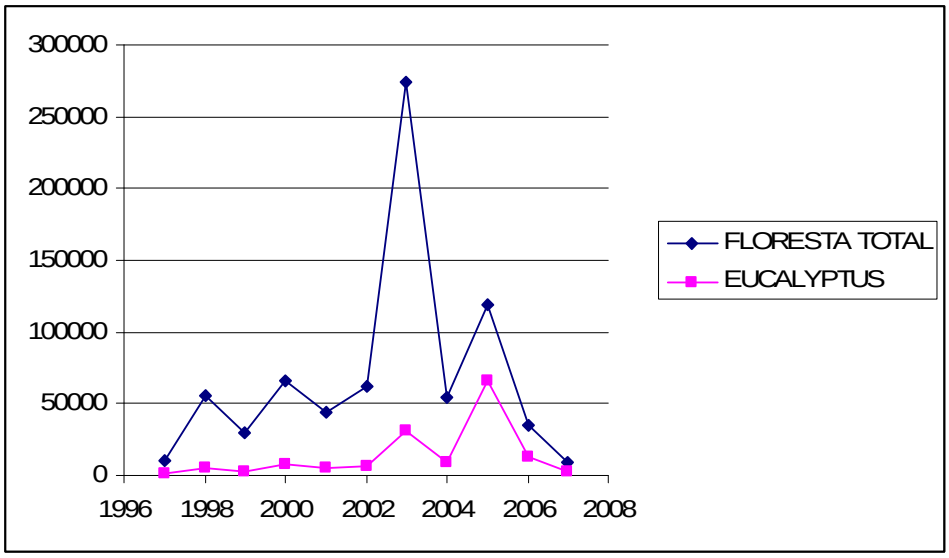



*Figura 4: Área florestal ardida em Portugal e respectiva área de eucalipto, no período 1997 a 2007*

Apesar de tudo, em Portugal tem-se estabelecido esta espécie de ciclo curto na qual ainda há proprietários privados interessados. Os mercados da pasta de papel e do papel, nomeadamente, fizeram com que a partir da década de 60 do século XX, se expandisse consideravelmente a área de eucalipto. Actualmente, além dos mercados tradicionais, as florestas de eucalipto instauram-se com mais alguns objectivos como, a produção de biomassa e de energia. A distribuição espacial do eucalipto segue de perto as áreas com aptidão ecológica para esta espécie (Figura 5).

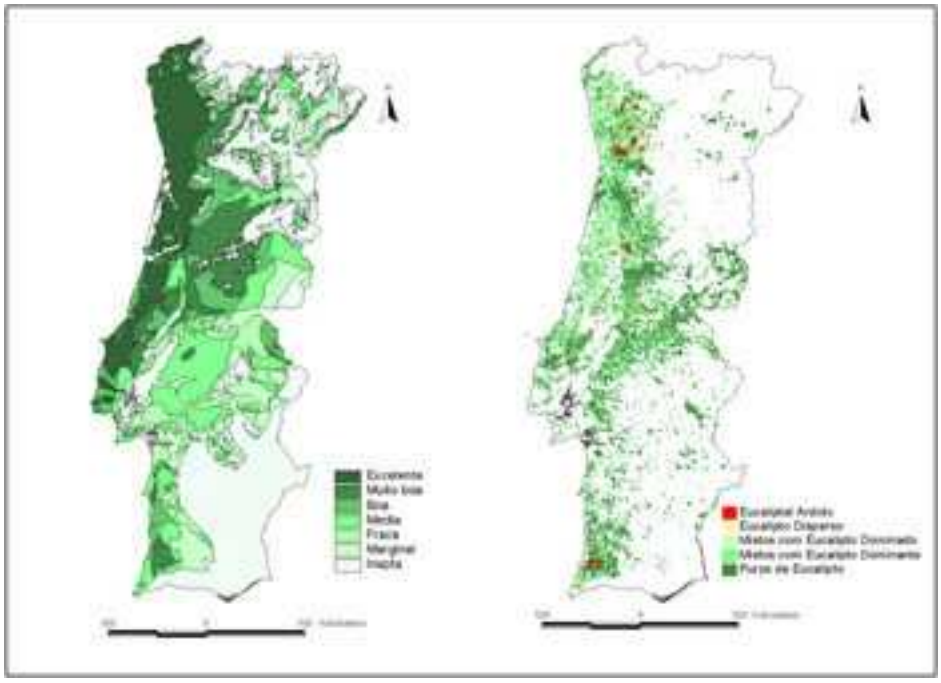


*Figura 5; Distribuição do eucaliptal em Portugal*

Como já foi dito, a expansão do eucalipto (essencialmente da espécie *Eucalyptus globulus* Labill) é relativamente recente em Portugal e coincide com a instalação e crescimento da indústria papeleira no país. Actualmente esta indústria é responsável pela gestão de cerca de 30% da área de eucalipto, na qual se abastecem em cerca de 20% do volume total de madeira consumida (CELPA, 2004). A combinação de produtividade e precocidade, tornam o *E. globulus* muito atraente para os produtores florestais que, de outro modo teriam que esperar um longo período de tempo pelo retorno do seu investimento (Alves *et al*., 2007). A produtividade potencial para o eucalipto é aproximadamente o dobro da do pinheiro bravo (16 $m^3$ $ha^{-1}$ $ano^{-1}$ aos 12 anos contra 7 $m^3$ $ha^{-1}$ $ano^{-1}$ aos 40-45 anos respectivamente) (DGRF, 2006).

O género *Eucalyptus* sp. tem sido, e é, um os recursos florestais mais utilizados industrialmente no mundo inteiro. Originários da Austrália, apresentam uma enorme diversidade, com mais de 600 espécies. A sua madeira é adequada a diversos usos: consumo doméstico, lenhas de alto poder calorífico, produção de carvão vegetal, estruturas de edifícios, postes para comunicações, pasta celulósica, etc. Da sua celulose pode-se fabricar produtos de uso quotidiano: sanitários, fraldas, pensos higiénicos, etc. A procura de produtos derivados da madeira do eucalipto ainda é, a

um nível internacional, a que mostra um maior acréscimo sustentável. Contudo é importante estudar o impacto da estrutura das florestas de eucalipto no comportamento do fogo. Por todos estes motivos, este estudo foi centrado no *Eucalyptus globulus* Labill.

## 2.4 Simuladores do comportamento do fogo

Os avanços tecnológicos têm provocado um desenvolvimento nos últimos tempos dos sistemas de simulação dos fogos, passando unicamente obter tabelas e gráficos a imagens em 3D e mais reais.

Os sistemas de simulação, como ferramentas para a predição, combinam os modelos para a predição e as técnicas ou métodos de simulação. O objectivo de ambos é realizar uma classificação dos sistemas de simulação, através de um estudo contrastivo, que se adequem às nossas necessidades.

Os modelos básicos para a prevenção são as componentes dos sistemas de simulação, que simulam o comportamento do fogo mediante o uso da informação e dados topográficos, meteorológicos e de combustíveis. Existem diferentes modelos (físicos, físicos-estáticos, estáticos e probabilísticos) que estão baseados em diferentes métodos para determinar o comportamento do fogo (Tabela 4).

Os métodos de simulação descrevem a propagação do fogo através da paisagem. A diferença entre os diferentes métodos (*Bond percolation*, *Cellular automation* and *Elliptical wave propagation*) está na forma de representação da paisagem e no processo de propagação dos mesmos. A representação da paisagem pode ser feita como uma grelha, onde a propagação do fogo se rege através de umas regras ou uma probabilidade de incidências, ou como um meio contínuo, onde a forma da linha de fogo é representada por funções matemáticas (Tabela 4).

*Tabela 4: Classificação de sistemas de simulação de fogo.*
*Fonte: Revista Fire Managent notes. Volume 59 nº2 Spring 1999*

| Fire simulation system | Components | | Intended use | Input | | Output | Platform and software |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Prediction model | Simulation technique | | GIS | Additional | | |
| Clarke Cellular Automation System (Clarke et al. 1993) | Probabilistic | Cellular automaton | To simulate landscape-scale fire risk and assessment as well as burn patterns. | • Vegetation<br>• Elevation<br>• Fuel moisture | • Temperature<br>• Relative humidity<br>• Windspeed<br>• Wind direction | Map of fire risk (98-foot (30-m) resolution) | UNIX workstation with C compiler and Xwindows interface |
| DYNAFIRE (Kalabokidis et al. 1991; Hay 1991) | Physical-statistical (BEHAVE) | Cellular automaton | To simulate the spread of low- to moderate-intensity surface fires. | • Standard fuel types<br>• Elevation<br>• Slope<br>• Aspect<br>• Stream network | • Temperature<br>• Relative humidity<br>• Fuel moisture<br>• Windspeed<br>• Wind direction | Maps of:<br>• Fire perimeter<br>• Fireline intensity<br>• Average spread rate | PC with MS-DOS and pMAP |
| EMBYR (Hargrove et al. 1995) | Probabilistic | Bond percolation | To simulate landscape-scale burn patterns. | • Vegetation classified by species and age | • Fuel moisture<br>• Windspeed<br>• Wind direction | Map of final burn pattern (164-foot (50-m) resolution) | UNIX workstation with FORTRAN compiler |
| FARSITE (Finney 1993) | Physical-statistical (BEHAVE) | Elliptical wave propagation | To simulate the spread and behavior of wildland fire. | • Standard/custom fuel types<br>• Elevation<br>• Slope<br>• Aspect<br>• Canopy cover | • Temperature<br>• Relative humidity<br>• Windspeed<br>• Wind direction<br>• Canopy characteristics | Maps of:<br>• Fire behavior<br>• Fire perimeters (adjustable resolution) | PC with Windows 3.1 and WIN32s, Windows NT, or Windows 95 |
| FIREMAP (Ball and Guertin 1992) | Physical-statistical (BEHAVE) | Cellular automaton | To simulate the spread of low- to moderate-intensity surface fires. | • Standard fuel types<br>• Elevation<br>• Slope<br>• Aspect | • Temperature<br>• Relative humidity<br>• Fuel moisture (optional)<br>• Windspeed<br>• Wind direction | Maps of:<br>• Spread rate<br>• Fireline intensity<br>• Flame length<br>• Heat/unit area<br>• Reaction intensity<br>• Fire perimeter | UNIX workstation with PROMAP |
| WILDFIRE (Wallace 1993) | Physical-statistical (FBP System) | Elliptical wave propagation | To simulate the spread of low- to moderate-intensity surface fires. | • Standard fuel types<br>• Elevation | • Windspeed<br>• Wind direction | Maps of:<br>• Fire perimeters<br>• Fire intensity (3.3-foot (1-m) resolution) | PC with MS-DOS |

Para além do exposto, existem outros factores a ter em conta de acordo com a finalidade pretendida. Estes factores são em primeiro lugar, os *inputs* (mapas digitais e parâmetros numéricos descritivos) com que podemos, quer criar modelos de combustíveis em função da quantidade e tipo de combustível, quer gerar uma paisagem particular a partir de dados empíricos. Em segundo lugar os *outputs*, pois todos os sistemas geram mapas de perímetros de fogo determinado a partir da área. Por último, os softwares ou plataformas que se descrimimam seguidamente.

Nos últimos anos, os simuladores de propagação dos incêndios florestais têm-se tornado cada vez mais um instrumento para a tomada de decisões dos gestores florestais (Finney, 2003; Rodríguez e Silva, 2003). Ao longo da década dos anos noventa foram desenvolvidos sistemas de predição do comportamento do fogo, tanto

na América (Farsite, FlamMap, BehavePlus) como no Canadá (PROMETHEUS), ou em Espanha (Visual Behave, Visual Cardin, Piromacos) e Portugal ( SPREAD). A simulação da propagação dos incêndios florestais mediante os programas informáticos, fundamenta-se na modelação de combustíveis mediante a predição do Behave e nas fórmulas semi-empíricas desenvolvidas por Rothermel. A propagação ou expansão do incêndio responde entre outros a critérios como o de propagação elíptica fundamentada no princípio de Huygens (Richards, 1990; Finney, 1998).

A nível mundial o software mais utilizado é o Farsite, que foi desenvolvido para espaços protegidos dos E.E.U.U. e validado para uma grande base de dados de incêndios ocorridos nessas áreas (Finney, 1994; Finney e Ryan, 1995). As características do mato mediterrânico e a presença de uma grande quantidade de sub-bosque podem contribuir para uma deficiente adaptabilidade dos modelos de simulação americanos. Além disso, o mato mediterrânico caracteriza-se por ser mais inflamável do que o mato americano (Elvira et al., 1989), e as acentuadas condições meteorológicas determinam um valor muito baixo de humidade que aumenta a severidade das chamas (Rodríguez et al., 2010).

Actualmente, para ultrapassar esta deficiência em termos de modelos de combustíveis, já se encontram calibrados e desenvolvidos modelos específicos para Portugal (Cruz & Viegas, 1998; Fernandes *et al*., 2009).

## BEHAVEPLUS

O Behave Plus trata-se de um sistema de modelação de fogos que se destaca por ser relativamente fácil de usar. Apresenta condições homogéneas de combustível, tempo atmosférico e topografia. Este programa baseia-se na equação de propagação de Rothermel, mas simplifica-se com os nomogramas de Albini e uns modelos estandart de combustível e uns novos modelos (Scott & burgan, ANO).

Os inputs usados que não provêm de SIG como em outros programas, são:

- Modelos de combustível

- Humidade do combustível (1 hora de retardo/10hr/100hr)

- Humidade do combustível vivo lenhoso

- Vento a media chama

- Declive do terreno

- Direcção do vector vento

- Direcção máxima de propagação

Como resultado destas entradas obtêm-se os seguintes outputs em forma de gráficos, tabelas e diagramas.

- Variáveis básicas do comportamento do fogo de superfície

    - Calor emitido por unidade de superfície. H (kcal/$m^2$)

    - Comprimento da chama. L (m)

- Intensidade linear. Iı (Kcal*s/m)

- Velocidade de propagação. R (m/min)

- Elaboração novos modelos de combustível

- Classificação do incêndio (grau de dificuldade de controlo e perigosidade)

- Cálculo das dimensões do incêndio em função do tempo

- Cálculo do tempo necessário até a extinção em função da velocidade da construção da linha de defensa

- Estimação da altura queimada das copas no caso de existir arvóres sobre o complexo de superfície

- Estimação da mortalidade do arbolado

- Prognosticar a distancia máxima de formação de focos secundários por fagulhas.

- Estimação da humidade dos combustíveis mortos

- Prognosticar a probabilidade de ignição

- Permite simular incêndios de copas

- Predição de transição do fogo de copas desde superfície (Van Wagner 1977)

- Predição da velocidade de propagação das copas (Rothermel 1991)

### FARSITE

O Farsite simula o comportamento e permite o mapeamento do desenvolvimento do fogo. Destaca-se porque permite visualizar o desenvolvimento do incêndio em condições variáveis no tempo e no espaço, no ecrã do computador, e precisa de informação muito organizada e à escala de paisagem. E apresenta condições homogéneas de combustível, tempo atmosférico e topografia.

Está baseado na equação de propagação de Rothermel e no princípio de Huygen de propagação elíptica. Para a introdução dos dados precisa de um suporte de dados provenientes de um SIG.

Project file. Que inclui:

Landscape File. (mapas)

Para o cálculo de fogo de superfície:

- Altitude
- Declive
- Orientação
- Modelos de combustíveis
- Percentagem de coberto

O programa possibilita a opção de calcular o fogo de copas.

- Altura média das árvores dominantes
- Altura média da base das copas.
- Densidade aparente das copas.

Text File.

- Weather Input File. (temperatura, precipitações, humidade relativa, altitude, etc…)
- Wind Input File. (Velocidade do vento, direcção e coberto de nuvens)

- FMS (humidade inicial do combustível)

- ADJ (ajuste da velocidade)

Do resultado da aplicação do programa obtem-se uma série de outputs em forma de gráficos, tabelas e mesmo como uma simulação.

- Variáveis básicas de comportamento do fogo sobre superfície

    - Calor emitido por unidade de superfície

    - Comprimento da chama. L (m)

    - Intensidade linear. Li (Kcal*s/m)

- Velocidade de propagação. R (m/min)

- Estimação do tempo de chegada a um ponto

- Possibilidade de fogo de copas (superfície/passivo/activo de copa)

- Projecção do perímetro da frente do fogo (frente de chama???)

- Direcção de máxima propagação

- Simulação de incêndios de copas possível

- Predição de transição do fogo de copas desde superfície (Van Wagner 1977)

- Predição da velocidade de propagação nas copas (Alexander)

**NEXUS**

Este programa de modelação de incêndios destaca-se pela sua utilidade como ferramenta para estudar o risco potencial de incêndios de copas e formas alternativas de tratá-los. As condições homogéneas que apresenta são o combustível, o tempo atmosférico e a topografia.

Está baseado na equação de propagação de Rothermel, mas de maneira simplificada com modelos estandart de combustível e os novos modelos de Scott & Burgan (ANO). Os inputs não usam dados provenientes do SIG

Modelo de combustível. Diferenciado entre:

Superfície.

Arbustos.

Coníferas.

· Humidade do combustível (de 1 hora de retardo/10hr/100hr)

· Humidade do combustível vivo lenhoso.

· Humidade do combustível vivo herbáceo.

· Características físicas do copado.

Comprimento da chama a partir da qual passa as copas.

· Declive.

· Velocidade do vento.

OUTPUTS. (Gráficos, tabelas e diagramas)

· Variaveis básicas do comportamento do fogo de superfície.

- Calor emitido por unidade de superfície. H (kcal/m2).
- Comprimento da chama. L (m).
- Intensidade lineal. Iı (Kcal*s/m).
- Velocidade de propagação. R (m/min).

· Tipo de fogo final (superfície/copas).

· Velocidade do vento a media chama.

· Direcção de máxima propagação.

· Estimar a altura de chamuscado de copas em caso de existir arvóres sobre o complexo de superficie.

· Longitude e raio maior.

· Perímetro.

· Área queimada.

· Parâmetros críticos de transição superficie-copas.

As aplicações que o caracterizam são:

- A elaboração de provas de modelos próprios de combustível

- Análise de sensibilidade das diferentes variáveis de comportamento

- Criação de índices de risco em incêndios de copas passivos e de ocorrência de activos no terreno.

- Estudo do comportamento num cenário determinado (superfície/copas)

- Avaliação de procedimentos alternativos para a redução do risco de incêndio de copas

## VISUAL BEHAVE

O Visual Behave trata-se de um sistema de modelação de fogos. Deste software determinístico com referência espacial destaca-se que é relativamente fácil de usar, e é usado em condições homogéneas de combustível, tempo atmosférico e topografia.

Fundamenta-se em:

- Equação de propagação de Rothermel

- Modelos de predição de focos secundários, desenvolvidos por Frank Albini (USDA)

- Modelos de transição a fogo de copa de Van Wagner (Forestry Canada)

- Modelos de combustível e novos modelos de combustíveis mediterrânicos (UCO40)

Pode ser considerado como uma adaptação dos sistemas para analisar o comportamento do fogo nos Estados Unidos e no Canadá ao ambiente mediterrânico. Este simulador conta com os modelos de combustível clássicos de Rothermel (ICONA) e com os UCO40 que definem de uma forma mais precisa os combustíveis associados a estas regiões. Parece ser fácil de usar e é bastante completo e óptimo para realizar simulações pontuais mas é um programa determinístico sem referência espacial. Possui uma janela principal na qual são inseridos os INPUTS necessários (mais ou menos quantidade segundo os

OUTPUTS pretendidos) e a partir destes são feitos os cálculos e aparecem os parâmetros correspondentes. Este software não foi seleccionado para o nosso estudo devido ao facto de não aportar informação a escala de paisagem e não gerar mapas da paisagem que representem o incêndio.

### FLAMMAP

O FlamMap trata-se de um simulador espacial e mapeado do comportamento do fogo. Destaca-se pela possibilidade de criar mapas de características de fogos espaciais (variáveis básicas do comportamento do fogo) e das condições do meio (humidade do combustível, velocidade do vento a meia chama e irradiação solar). É possível exportar estes mapas a um SIG. O programa faz cálculos do comportamento do fogo em cada pixel, o que resulta de grande utilidade para comparar a escala da paisagem e avaliar as medidas de gestão dos combustíveis. As condições são constantes no tempo mas variáveis no espaço; a humidade do combustível e o tempo atmosférico como homogéneas e o combustível e a topografia como heterogéneas.

Baseado em:

- Equação de propagação de Rothermel
- Princípio de Huygen de propagação elíptica

Para a introdução dos dados precisa de um suporte de dados provenientes de um SIG.

- Landscape File (mapas)
- Altitude
- Declive
- Orientação
- Combustíveis (modelos9
- Cobertura de copado

O programa da opção de calcular o fogo de copas.

- Altura média das árvores dominantes
- Altura média da base das copas
- Densidade aparente das copas
- Tabelas
- Tempo atmosférico (temperatura, precipitações, humidade relativa, altitude, etc)
- Vento (velocidade do vento, direcção e coberta de nuvens)
- Humidade inicial dos combustíveis

Existe uma aplicação que pode ser interessante, C F Models (Custom Fuel models), onde é possível trocar modelos de combustível criados em uma aplicação e outra (p. ex. de BehavePlus a Farsite)

Outpus em forma de simulações e tabelas, a partir de:

- Variáveis básicas de comportamento do fogo sobre superfície
    - Calor emitido por unidade de superfície. H (kcal/$m^2$)
    - Comprimento da chama. L (m)
    - Intensidade linear. Li (Kcal*s/m)
- Velocidade de propagação. R (m/min)
- Dimensões elípticas (Principio de Huyen)
- Desenvolvimento do fogo
- Velocidade do movimento horizontal (tempo de chegada a um ponto)
- Direcção máxima de propagação
- Propagação do fogo as copas

## 2.5 Gestão florestal

Como já foi amplamente mencionado, os incêndios na bacia mediterrânica em geral, e em Portugal em particular, provocam prejuízos importantes: humanos; como a perda de vidas, ambientais; como a destruição de habitats, e económicos; como os custos para combater os incêndios.

Parte destes fogos têm origem humana, mas parte deles são provocados por factores naturais como as secas, a velocidade do vento, a topografía, etc, que influenciam a sua propagação e determinam os seus efeitos devastadores. Por isso, combater os incêndios constitui uma tafera difícil.

A silvicultura preventiva é fundamental para garantir a sobrevivência do recurso e deve fundamentar-se não só nas técnicas florestais tradicionais, mas também nas investigações sobre o comportamento do fogo na floresta, a classificação dos modelos de combustível e a interacção com o relevo.

O uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para o tratamento dos dados em que se reflectem estes factores terá de ser de uso habitual para o planeamento contra os incêndios florestais. Assim, a teledetecção utiliza-se para conhecer a evolução do perigo em grandes áreas e avaliar o impacto do fogo.

Os programas e diferentes aplicações informáticas para as simulações dos fogos constituem um importante instrumento da gestão florestal na prevenção dos incêndios. A investigação nesta área tem como objectivo compreender o comportamento do fogo e fornecer aos decisores instrumentos que lhes permitam actuar com eficiência, estudando os efeitos dos incêndios sobre a vegetação e propondo métodos de gestão para limitar os prejuízos resultantes.

Neste contexto, para se efectuar uma gestão mais eficaz em áreas de eucalipto foi realizado o presente trabalho. O nosso estudo estabeleceu-se com base na informação de dados prévios e com apoio do SIG e na utilização do Software FlamMap.

# CAPÍTULO III: MATERIAL E MÉTODOS

## 3.1 Caracterização área de estudo

A área de estudo localiza-se na Região de Lisboa e Vale do Tejo e Subregião da Lezíria do Tejo, no centro de Portugal continental, mais concretamente no distrito de Santarém, sendo dividida pelos concelhos da Chamusca e de Alpiarça (Figura 6).

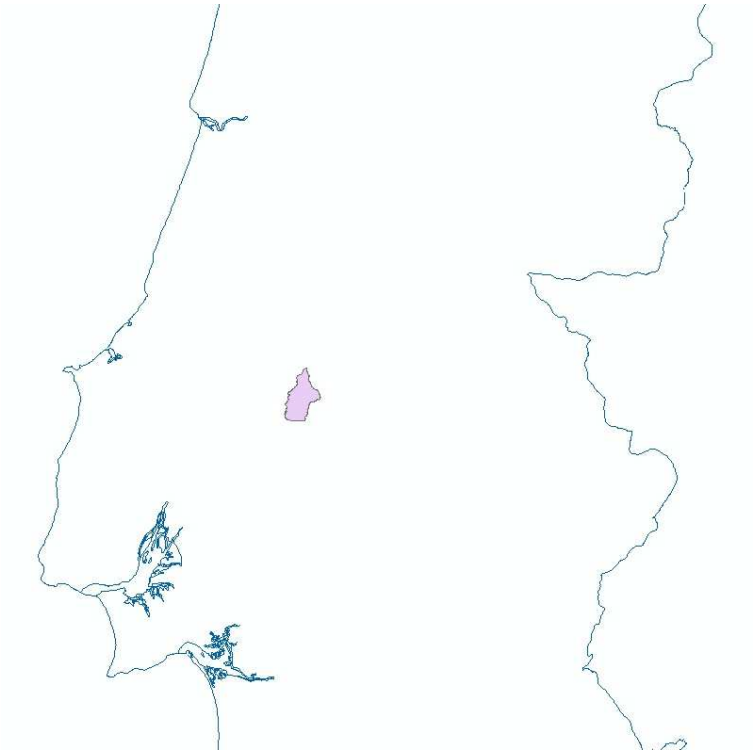


*Figura 6: Localização da área Globland*

A zona em estudo, denominada " Área Globland", apresenta uma área aproximada de 11882 ha, sendo ocupada por floresta predominantemente de eucalipto. A área Globland, enquadra um grupo de propriedades de empresas de celulose. Esta paisagem florestal foi classificada em 1000 parcelas de povoamentos de eucalipto puro com áreas que variam entre 4.8 e 26.6 ha. A distribuição actual da área dos povoamentos pela classe de idade é regular (muito regular), com idades que variam de 0 a 16.5 anos, e com uma média de idade de 8 anos.

Em temos altimétricos, as propriedades localizam-se entre os 0 e os 200 metros de altitude, tendo uma distribuição nas cotas mais altas da zona (entre 100-200m). Os declives mais acentuados, localizam-se em geral nestas áreas de maior altitude, variando entre os 0 e os 35.9%.

Os tipos de paisagem que ocupam a área são Montado (sobro e azinho), Campina (sequeiro estreme), Lezíria e Regadios mediterrâneos, ocupando uma litología de Arenitos, calcários mais ou menos margosos, areias, cascalheiras, argilas (a maior parte); Aluviões (uma franja que divide em dois metades, a superior 1/3 da area total nas zonas de menor altitude. E há presença pontual de Areias e cascalheiras e Granitos e rochas afins.

Em termos de meteorologia a zona apresenta uns valores médios do 75-80% de humidade do ar e uma evapotranspiração real que oscila entre os 500 e 600 mm. A temperatura média do ano é de 16-17,5ºC e a precipitação está a volta dos 800 mm.

## 3.2 Recolha e tratamento de inputs nos simuladores

O comportamento do fogo está fortemente influenciado por três factores característicos: a topografia, a meteorologia e o combustível (Figura 7). Ao contrário da meteorologia e dos combustíveis, a topografia não sofre alterações num curto espaço de tempo. E além disso, a meteorologia não pode ser modificada pelo homem.

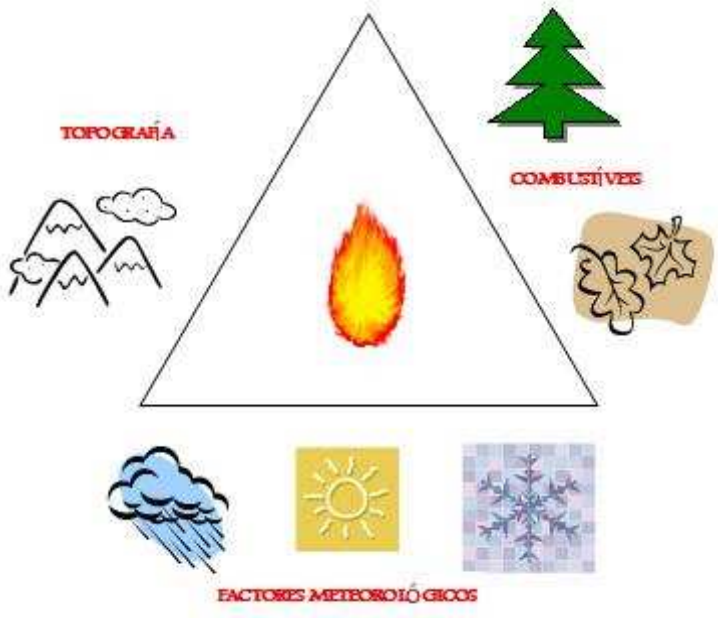



*Figura 7: Triângulo do comportamento do fogo.*

### 3.2.1 Topografia

As caracteristicas do terreno têm uma grande influência no comportamentodo fogo. Mesmo que seja a mais constante das três componentes, tem um grande impacte nos outros factores. Nomeadamente a configuração, exposição e declive do terreno afectam o comportamento do fogo de forma importante.Os três factores topográficos que afectam, geralmente, o comportamento do fogo são: a configuração ou relevo, a exposição ou orientação, e a pendente do terreno ou declive.

i) ALTITUDE

A configuração ou relevo condiciona o clima, e tem uma grande influência nos regímes de vento que vão incidir na direcção e velocidade de propagação do fogo.

Influência no clima em geral e, portanto, a disponibilidade de combustível. A precipitação tende a aumentar e a temperatura a diminuir com a altitude o que torna a época de incêndio mais curta.

ii) EXPOSIÇÃO

A exposição do terreno diz respeito ao ângulo de incidência dos raios solares e tem um importante efeito sobre a temperatura e a humidade relativa, influenciando assim no desenvolvimento da vegetação e a humidade dos combustíveis.

iii) DECLIVE

O declive é o factor topográfico que tem maior importância no comportamento do fogo, dado que influencia nas formas de transmissão do calor (convexão e radiação). È por isto que influi directamente na direcção de avanço da frente do incêndio, na sua velocidade, na altura de dissecado das copas e na possibilidade de transitar de fogo de superfície a fogo de copas.

Na tabela 5 estão sumariamente indicados os dados topográficos existentes na área Globland,

*Tabela 5: Intervalos de dados topográficos na área de estudo*

| Área | 11882,13874 ha | |
|---|---|---|
| DTM | Resolução | |
| | 25 x 25 | |
| Relevo | Min | Max |
| | 0 | 196 |
| Declive | Min | Max |
| | 0 | 35,9 |

### 3.2.2 Clima

Os factores meteorológicos revestem-se de uma importância fundamental na definição do comportamento do fogo. No seu conjunto afectam quer a inflamabilidade quer a combustibilidade do leito de combustível. Fazem-no antes de mais por condicionarem o teor de humidade das partículas combustíveis; esta resulta do equilíbrio entre a partícula (viva ou morta) e o ambiente, que por sua vez é afectado pela temperatura, pela humidade relativa do ar, pelo vento, pela radiação solar e pela precipitação. A relação entre o teor de humidade dos combustíveis e dos parâmetros meteorológicos pode ser realizada através de índices como os que são proporcionados pelo sistema canadiano de indexação do perigo de incêndio (Viegas *et al*, 2004).

i) CRIAÇÃO DOS CENÁRIOS METEOROLÓGICOS

Procurou-se criar um cenário meteorológico representativo de condições de perigo meteorológicas moderadas, que para efeitos de identificação se denominou “Cenário reduzido”; umas condições severas médias, sob o qual acontece um fogo severo que não tem consequências muito graves, mas que permite representar e avaliar o comportamento do fogo de forma geral (Cenário controlo). Por outro lado também se construiu um cenário desfavorável que permite avaliar o comportamento do fogo numas condições não muito comuns na área de estudo e muito desfavoráveis enquanto à severidade do fogo (Cenário crítico ).

Para tal, foram colectados da Base de Dados do Instituto Meteorológico, escala Nacional , dados meteorológicos de temperatura e de humidade relativa do ar, que correspondem a potenciais de fogo distintos no Verão (moderado, normal, extremo), série temporal 1998-2008, no intervalo de 15 Maio a 15 Outubro.

Diferenciarem-se três cenários iniciais pela eleição de três percentagens diferentes de dados mais desfavoráveis (25% dos dias, 10% dos dias e 3% dos dias) resultando três cenários meteorológicos: cenário reduzido (percentil 75), cenário

controlo (percentil 90) e cenário crítico (percentil 97) a combinar com diferentes valores de velocidade de vento e uma única direcção do vento. Os dados de vento foram tirados de http://snirh.pt e encontram-se referenciados mais adiante.

ii) TEOR DE HUMIDADE DOS COMBUSTÍVEIS (A PARTIR DOS CENÁRIOS METEOROLÓGICOS)

A partir dos dados meteorológicos recolhidos, foi necessário calcular o teor de humidade dos combustíveis vivos e mortos, parâmetro exigido como INPUT de entrada das variáveis meteorológicas no simulador FlamMap.

Da pesquisa bibliográfica efectuada para o cálculo da humidade dos combustíveis finos mortos de uma hora de resposta (1hr), foram identificados dois métodos: o “Fire Behaviors Office”, FBO (Rothermel, 1983) e o “Fine Fuel Moisture Code” FFMC (Van Wagner and Pickket, 1985). O FBO é um modelo semi-físico fundamentado no NFDRS (Fosberg e Deeming, 1971) mas melhorado. O modelo é composto por um conjunto de tabelas nas quais se introduzem valores das variáveis: temperatura do ar (ºF), humidade relativa do ar (%), mês, percentagem do combustível sombreado, hora, exposição (N, S, E, W), declive (%). Contudo, mencionam o uso do (FFMC) como o mais adequado para o cálculo da humidade de uma hora de resposta. O FFMC é um dos componentes do Índice Canadiano de risco meteorológico “Canadian Forest Fire Weather Index System” (FWI) (Van Wagner and Pickket, 1985; Van Wagner, 1987), e foi recentemente adaptado para Portugal (Viegas, 2004). O FFMC corresponde ao índice de humidade dos combustíveis finos traduz de uma forma relativa o teor de humidade dos combustíveis finos mortos e da folhada.

No presente estudo a análise dos percentis (P75, P90 e P97) incluiu o FFMC do sistema Canadiano, que permite conversão directa no teor de humidade (Tabela XXX), já que se tem conhecimento que os valores correspondentes das tabelas FBO do Rothermel (1983) subestimam os valores originando por vezes situações de valores “exagerados” (Fernandes, P. , comunicação pessoal). Tabela 6.

*Tabela 6: Conversão humidade*

| | | T (oC) | HR (%) | FFMC | Fuel moisture content (FFMC) | Fuel moisture content (proposto) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Reduzido | P75 | 28.3 | 35 | 91.9 | 8.8 | 10 |
| Controlo | P90 | 31.8 | 26 | 94.2 | 6.5 | 7 |
| Crítico | P97 | 34.9 | 19 | 95.9 | 4.8 | 4 |

As humidades foram ajustadas com base nos objectivos do presente estudo e os valores obtidos foram analisados com especialistas na matéria (Paulo Fernandes, UTAD). Comparando os teores de humidade não há grande diferença com o que geralmente se aceita como limiares para níveis de comportamento do fogo distintos, pelo que se obtou por utilizar como dados de entrada (input) para a simulação os valores de 10, 7 e 4%.

Os valores de teor de humidade dos combustíveis vivos das classes de 10 e 100 horas de resposta foram obtidos adicionando 1 e 3%, respectivamente, ao teor de humidade dos combustíveis da classe de 1 hora de tempo de resposta (Rothermel, 1983 e Ruiz, 2005).

A tabela 7 apresenta os diferentes Cenários meteorológicos, definidos com o conjunto de teores de humidade dos combustíveis mortos (1 h, 10 h, 100 h), vivos herbáceos, vivos lenhosos e da folhagem.

*Tabela 7: Dados meteorológicos e hunidades dos combustíveis.*

| | VIVOS | | | MORTOS | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Cenário** | **1 h** | **10 h** | **100 h** | **Herbáceo** | **Lenhoso** | **Foliar** |
| Reduzido (P75) | 10 | 11 | 13 | 0 | 75 | 120 |
| Controlo (P 90) | 7 | 8 | 10 | 0 | 75 | 120 |
| Crítico (P 97) | 4 | 5 | 7 | 0 | 75 | 120 |

No caso dos combustíveis vivos (herbáceos, lenhosos e folhagem) os valores permanecem constantes para todos cenários meteorológicos. Rothermel (1983) sugere valores de referência definidos em função do estado fenológico das plantas sendo, geralmente, atribuídos valores de 100% para a folhagem, associado a folhagem madura, com o crescimento anual completo, 95% para o material lenhoso vivo por comparação com a folhagem e assumindo que os tecidos lenhosos têm menos contido de humidade que a folhagem e finalmente 50% para as herbáceas com base no valor da folhagem a entrar em senescência no verão (Rothermel, 1983; Ruiz, 2005). A humidade dos vivos é importante nos modelos de combustível com bastante combustível vivo, e o modelo de Rothermel é muito sensível a este parâmetro. a humidade 1hr só inclui o combustível fino morto, sem actividade fisiológica, correspondendo a cerca de 10-50% da biomassa arbustiva. Para usar um valor representativo de um Verão normalmente seco (verão “normal”) eu apontaria para 75% é um valor razoável para combustíveis lenhosos. Para um Verão bastante seco (por exemplo, com deficit hídrico que já vem da Primavera, como em 2005) usaria 60%, que corresponde a um índice de secura DC (Drought code – representa o conteúdo de água na camada orgânica mais profunda da manta morta) do sistema canadiano à volta de 900. Estudos recentes (Viegas *et al*., 1998) mostraram que este índice é um bom indicador de teor de humidade da vegetação arbustiva.

No pico do Verão as herbáceas estão completamente “curadas,” por isso não há herb. Vivas, nesta ordem de ideias seleccioniu-se valor 0% para a humidade herbácea. Quanto à humidade foliar das árvores, normalmente é superior a 100%. Um Verão de secura extrema, poderíamos utilizar 100% mas, para um Verão normalmente seco, talvez à volta de 120%, tendo sido seleccionado este último.

### iii) ANÁLISE DA VELOCIDADE E DIRECÇÃO DO VENTO DOMINANTE

No FlamMap a direcção do vento foi introduzida sem apreciar os efeitos da topografia, considerando uma só direcção do vento para toda a área de estudo. Esta opção requer o uso da direcção modal do vento na época estival (a direcção mais frequente).

Para o total dos dias e horas foram previamente analisadas/os para obter os dados relativos as variáveis meteorológicas, também foram usadas para mostrar o sentido do vento dominante na área de estudo. Assim a partir do programa Excel obteve-se um histograma circular que representa o vector médio (Figura 8).

A rosa-dos-ventos obtida para a direcção dos matos,. A direcção do vento foi obtida com base no total de valores dos 4 Verões considerados ano 1997 – 2007 no período estival (maio a 0º – N (norte)).

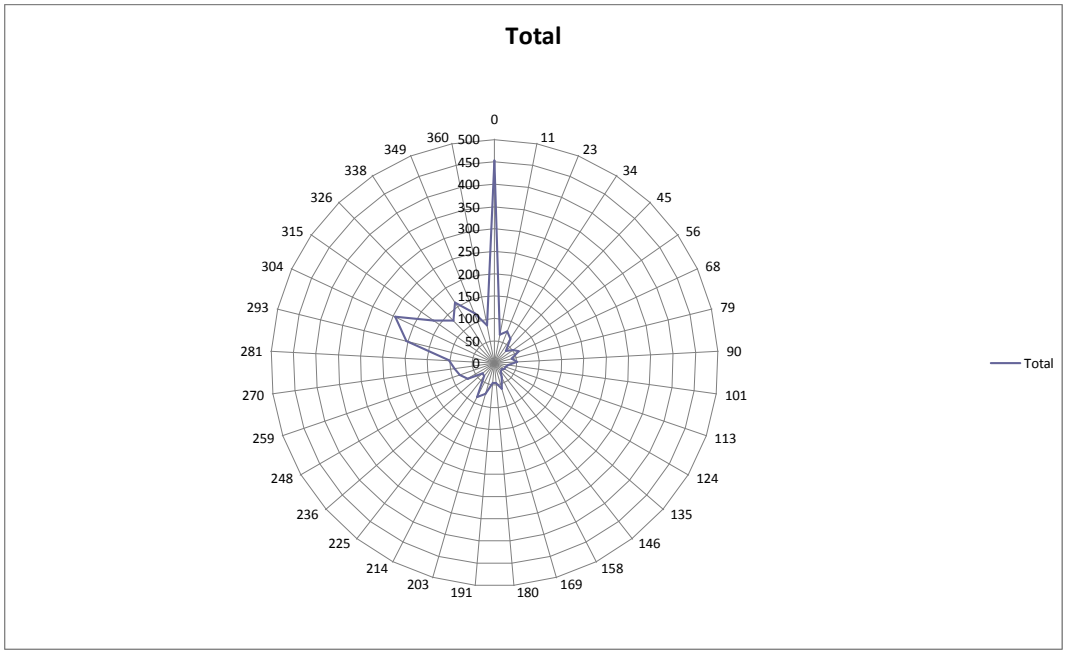



*Figura 8: Direcção do vento*

Em relação ao vento foi proposto 10, 20 e 40 km/h (vento a 10m). Valores acima de 40 km/h são pouco realistas (repare-se que há que considerar valores médios sustentados, não períodos curtos com rajadas fortes).O vento tem um efeito determinante no comportamento potencial do fogo, nomeadamente no aumento do potencial de ocorrência do fogo de copas, quando as velocidades do vento, atingem valores críticos, que determinam a ocorrência dos mesmos. Portanto a velocidade do vento é um factor meteorológico muito importante a considerar no estudo de comportamento do fogo de copas nas suas formas, activo ou passivo. Assim sendo, seleccionaram-se três velocidades do vento com o intuito de se encontrar simulações nas quais aconteçam fogos de copas. Estas permitiram avaliar o comportamento do fogo de copas na Área Globland na sua variabilidade, activo e passivo. Uma consequência desta opção poderá ser o facto: dos valores seleccionados para teste poderem parecer algo exagerados e não muito realistas, mas este é um dos objectivos procurados para seleccionar os cenários meteorológicos (controlo, desfavorável), só umas condições muito específicas e esporádicas são capazes de originar fogos nas copas realmente crítico.

Neste sentido, para cada um dos cenários meteorológicos já descritos estudaram-se valores de velocidade do vento de 10, 20 e 40 km/h, como foi mencionado anteriormente estes valores, e não correspondem aos dados provenientes da Estação Meteorológica (que são valores muito mais baixos).

No FlamMap os valores de velocidade do vento são introduzidos em milhas recorridas a hora (MPH) a 10 metros de altura, assim foi preciso realizar a respectiva conversão das unidades iniciais (km/h) .Não foi preciso usar factores do ajustamento do vento (FAV) o próprio

*Tabela 8: Teor de humidades e velocidades do vento calculadas a 10 m de altura para os diferentes cenários*

| | Humidade combustíveis mortos (%) | | | Humidade combustíveis vivos (%) | | Humidade foliar (%) | Vento (10m) (km/h) | Vento (20ft) (MPH) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Simulação | 1h | 10h | 100h | Herbáceas | Arbustivos | | | |
| 1 | 4 | 5 | 7 | - | 75 | 120 | 10 | 6 |
| 2 | 7 | 8 | 10 | - | 75 | 120 | 10 | 6 |
| 3 | 10 | 11 | 13 | - | 75 | 120 | 10 | 6 |
| 4 | 4 | 5 | 7 | - | 75 | 120 | 20 | 12 |
| 5 | 7 | 8 | 10 | - | 75 | 120 | 20 | 12 |
| 6 | 10 | 11 | 13 | - | 75 | 120 | 20 | 12 |
| 7 | 4 | 5 | 7 | - | 75 | 120 | 40 | 25 |
| 8 | 7 | 8 | 10 | - | 75 | 120 | 40 | 25 |
| 9 | 10 | 11 | 13 | - | 75 | 120 | 40 | 25 |

No entanto, é necessário ter em conta, que o uso de dados reais do vento, implicaria o ajustamento dos mesmos para serem introduzidos no simulador. FlamMap não só precisa da transformação a MPH dos valores, também do ajustamento em altura dos mesmos. Em geral, os dados do vento das estações meteorológicas de Portugal são obtidos a 10 metros de altura. O factor multiplicador usado normalmente para obter a velocidade do vento a 10 metros de altura é de 1.15 por a velocidade do vento a 6 metros de altura (Ruiz, 2006).

### 3.2.3 Vegetação

**a) Parâmetros que influenciam os fogos de superfície**

CARACTERIZAÇÃO DO FOGO DE SUPERFÍCIE

Para a caracterização e a modelação do comportamento do fogo na superfície é preciso, em primeiro lugar, caracterizar e modelar a vegetação presente na área de estudo. Isto é fundamental em qualquer tipo de análise ou predição do comportamento do fogo, pois a vegetação presente será o combustível disponível no caso de incêndio. A vegetação constitui um factor de grande importância para controlar os incêndios na floresta, a silvicultura ou silvicultura preventiva é uma ferramenta fundamental na gestão e extinção.

MODELOS DE COMBUSTÍVEL (FUEL MODELS)

Com o objectivo da estimação dos do comportamento do fogo mais provável num lugar e num momento específico , e assim planificar as acções preventivas dos incêndios e a extinção dos mesmos, criaram-se os modelos de combustível. Tudo isto a partir da sintetização sistemática desta informação mediante “modelos”. Por isso, um modelo de combustível é uma descrição estilizada, simplificada, de um combustível, para uso num modelo matemático de comportamento do fogo.

O tipo de combustível presente no terreno é um dos factores mais influentes no comportamento do fogo, sendo a sua classificação essencial para a identificação do risco de incêndio (Lopez, 2002).

O combustível florestal é toda a matéria de origem vegetal que pode arder permitindo a propagação do fogo através da floresta (Sociedad Española de Ciencias Forestales). Especificando, são as árvores, arbustos, matos ou vegetação herbácea, tanto vivos como mortos, e também os fragmentos dos mesmos, que se encontram em diferente estado de decomposição (Ruiz, 2004). Pode ser mais

quantitativa, recorrendo a modelos matemáticos e a cenários meteorológicos, ou ser mais qualitativa e subjectiva, baseada na opinião de especialistas. Para uma descrição mais simplificada das características dos combustíveis, a vegetação agrupa-se em tipos ou modelos de combustíveis que partilham características similares respeito ao comportamento do fogo.

Até há poucos anos e em muitos casos, os modelos usados na Europa (Espanha, Portugal, Itália, Grécia) para simular o comportamento do fogo foram os 13 modelos de combustível adaptados para a região da Galiza (Espanha) segundo o antigo ICONA (1990). Estes modelos eram uma adaptação dos 13 modelos NFFL (Anderson, 1982) desenvolvidos pelo Nothern Forest Fire Laboratory, recentemente incrementados por mais 40 modelos (Scott e Burgan, 2005), para resumir a grande variedade de combinações permissíveis dos descritores numéricos do complexo combustível que pretendia abarcar a maioria das situações reais observadas nas regiões florestais, de mato e de pastagens na zona temperada. Em contra partida, estes modelos são insuficientes para descrever toda a variedade de complexos dos combustíveis existentes em Portugal. A partir desta ideia nos últimos anos foram desenvolvidos novos modelos, que descrevem de uma forma mais precisa a variedade de complexos dos combustíveis existentes em Portugal; para a Região centro de Portugal (Cruz, 2005) e os 18 modelos para Portugal continental (Fernandes *et al*, 2009).Na tabela 9 apresentam-se os dois grupos de modelos de combustivel (Fuel model) que foram testados na área:

*Tabela 9: Modelos de combustível propostos.*

| CLASSE DE IDADE | PAULO FERNANDES | M. G. CRUZ |
|---|---|---|
| 1 – 4 | M-Eucd | Euc-01 |
| 5 – 12 | M-Euc | Euc-03 |
| > 13 | V-Mab | MAT-03 |

Seguidamente a descrição de cada tipo de modelo, as respectivas ilustrações encontram-se no Anexo 29:

**Modelos de Combustivel segundo (Fernandes et al, 2009).**

- M-EUC. Eucaliptal.

Grupo M (misto). Tanto a folhada como a vegetação arbustiva ou lenhosa são significativas e determinam a propagação do fogo.

- M-EUCd.

Eucaliptal com combustível descontínuo, usualmente recentemente degradado. Grupo M (misto). Tanto a folhada como a vegetação arbustiva ou lenhosa são significativas e determinam a propagação do fogo.

- V-MAb.

Mato baixo (< 1 m) de urze, tojo ou carqueja. Grupo V (sub-bosque, mato ou pastagem). O comportamento do fogo é controlado pela vegetação arbustiva ou lenhosa.

**Modelos de combustivel segundo (Cruz, 2005)**

- EUC-01 - Eucaliptal jovem

Formação combustível característica de eucaliptais com idade inferior a 3 anos. A folhada resultante de 2 anos de acumulação é incipiente e a estratificação vertical é reduzida (2 a 4 metros). O elevado teor de humidade das folhas jovens de eucalipto em conjunto com a área foliar elevada do povoamento originam um comportamento do fogo caracterizado por fogos de intensidades baixas a moderadas, e risco reduzido de transição para fogos de copas.

- EUC-03 - Eucaliptal com sub-coberto arbustivo

Formação combustível característica de eucaliptais cujo sub-bosque possua arbustos com altura inferior a 0,7 m. O fogo nesta formação combustível tende a apresentar intensidade e velocidade de propagação altas, e a possibilidade do fogo se propagar às copas em certas condições. A ocorrência de focos de incêndio secundários é comum em condições de teores de humidade dos combustíveis mortos finos baixas.

- MAT-03 - Arbustos com altura superior a 1,3 metros.

Formação combustível caracterizada por arbustos altos. As cargas de combustível existentes e a densidade impossibilitam a deslocação no interior do complexo combustível e tornam ineficaz o combate directo ao fogo. As quantidades de energia libertadas pela combustão nesta formação combustível originam o desenvolvimento de fenómenos de comportamento do fogo extremo.

Foram realizados testes para com os dois modelos de combustível propostos, em igualdade de condições (parâmetros de vegetação e valores meteorológicos) para avaliarmos o tipo de modelo mais adequado à area em análise. Obteve-se, num cenário mais crítico (humidade 4% e vento 10 km/h) as imagens da figura 9. Devido ao facto do teste com os modelos do Cruz demonstrar não ser de interesse em termos de distribuição pela área das variáveis comportamento do fogo, obtaram-se pelos modelos do Paulo Fernandes.

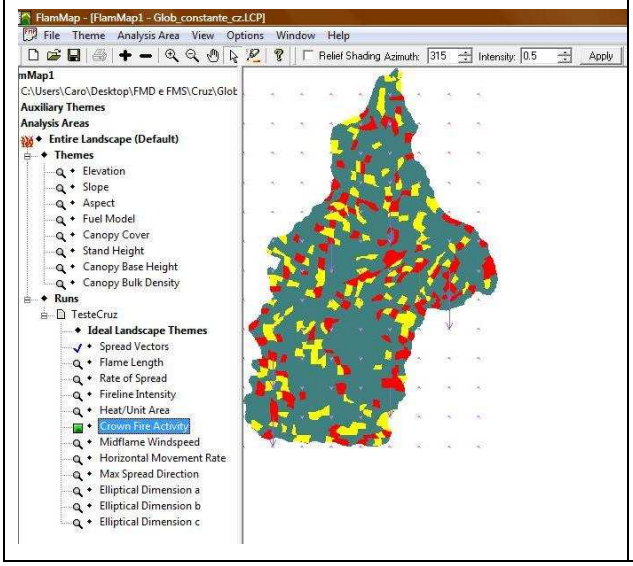
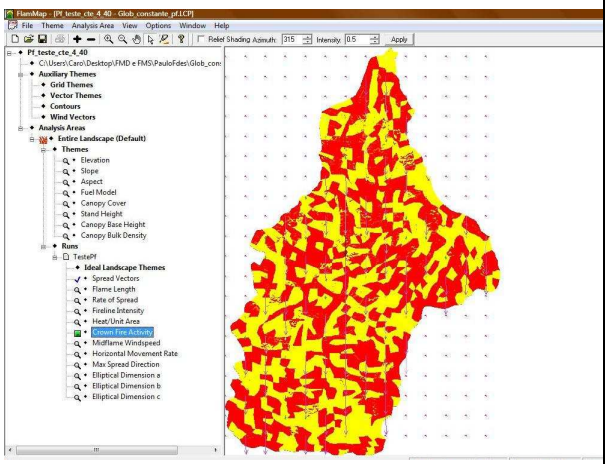
| RESULTADO TESTE CRUZ | RESULTADO TESTE PAULO FERNANDES |
|---|---|
|  |  |



*Figura 9: Testes para a selecção do modelo de combustível*

## PERCENTAGEM DE COBERTO ARBÓREO (CANOPY COVER)

A percentagem de coberto arbóreo é uma variável que descreve o estrato arbóreo definida como a projecção horizontal das copas na superfície do terreno. A influência do coberto arbóreo reflecte-se no teor de humidade dos combustíveis presentes no sob-coberto, na medida em que o copado lhes proporciona maior ou menor ensombramento (Finney *et al*., 2004). A existência de copado está também relacionada com factores de reducção da velocidade do vento ao nível do sob-coberto e a possibilidade de ocorrência de fogos de copas (Finney *et al*., 2004).

Para a introdução dos dados de percentagem de coberto arbóreo foram integrados diferentes intervalos de classe de idade aos intervalos de percentagem de coberto arbóreo que propõe o FlamMap, mediante uma pesquisa bibliográfica, de acordo com a tabela 10

*Tabela 10: Relação entre o percentagem de coberto arbóreo e as classes de idade*

| Intervalos Percentagem de coberto arbóreo | Classes de Idade |
|---|---|
| 1 – 20% | - |
| 21 – 50% | 1 – 3 |
| 51 – 80% | 7 – 8 |
| 81 – 100% | > 9 |

## b) Parâmetros que influem nos fogos de copa

### CARACTERIZAÇÃO DO FOGO DE COPAS

A maioria dos fogos que acontecem nos países mediterrânicos são de superfície, no entanto os fogos de superfície podem dar lugar a fogos de copas. Os fogos de copas causam maiores danos, isto é consequência de que de um modo geral apresentam umas gamas de intensidade de linha de chamas e taxas de propagação mais elevadas, susceptíveis de gerar comportamentos do fogo severos e de difícil contenção. (Scott e Reinhardt, 2001).

Nos fogos de copas as chamas são conduzidas através dos elementos finos, vivos ou mortos, do estrato aéreo do combustível. São originados a partir de um incêndio de superfície que muda ao estrato superior por causa do calor transmitido por convecção. A continuidade vertical dos estratos de combustível favorece a transformação de um fogo de superfície num fogo de copas, segundo Van Wagner (1977, 1993) a transição de um ao outro depende da intensidade do fogo de superfície e das características das copas (Ruiz, 2004).

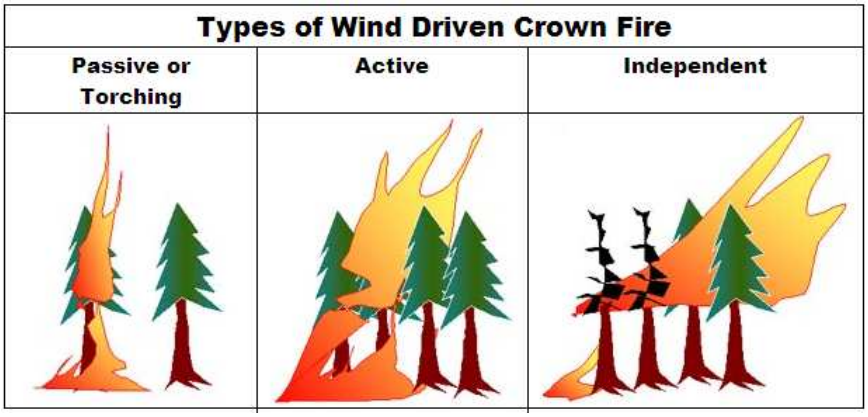



*Figura 10: Tipos de fogos de copas (Finney, 2001)*

Duas categorias do fogo de copas podem ser diferenciadas: o fogo passivo ou activo. A estas pode ser acrescentada uma terceira: o fogo de copas independente do fogo da superfície (Van Wagner, 1977).

## ALTURA DOMINANTE DO POVOAMENTO (STAND HEIGHT)

A altura do povoamento é traduzida pela média da altura (m) das árvores dominantes do povoamento (Finney *et al.* 2004). A altura da base da copa define-se como a altura (m) desde superfície do terreno à copa viva (Finney *et al*., 2004). A densidade aparente da copa define-se como a fitomassa (kg) presente numa unidade de volume de copa ($m^3$) (Scott e Reinhardt, 2001).

As variáveis caracterizadoras do copado – altura do povoamento, altura da base da copa e densidade aparente da copa – influenciam o comportamento potencial do fogo, nomeadamente na transição de fogo de superfície para fogo de copas.Esta vai influenciar na transição do fogo de umas árvores para as outras.

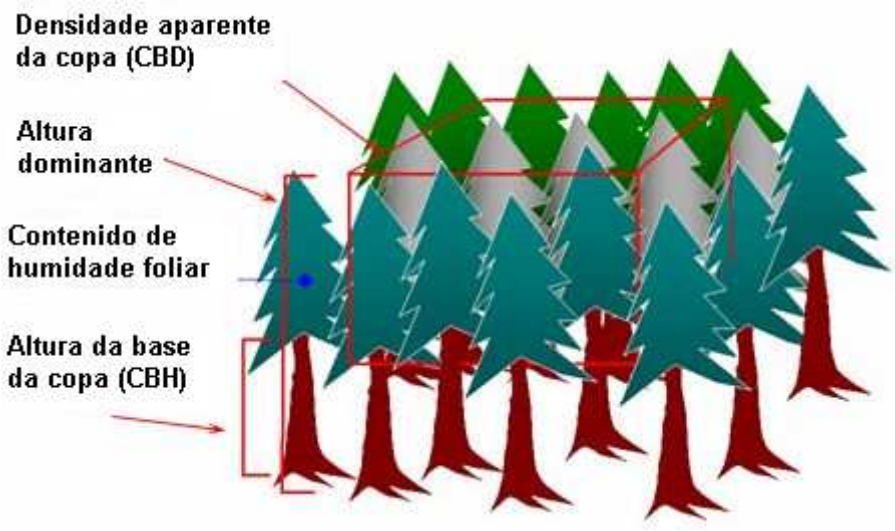



*Figura 11: Principais parâmetros que influenciam no fogo de copas (Finney, 2006)*

## ALTURA DA BASE DA COPA (CANOPY BASE HEIGHT)

A altura da base da copa define-se como a altura desde a superfície do terreno à copa viva. Finney menciona a importância de ter em conta o incremento da continuidade vertical no caso de uma maior altura do mato, para a estimação do canopy base height (CBH). Este parâmetro vai influenciar decisivamente na transição do fogo da superfície às copas.

## DENSIDADE APARENTE DA COPA (CROWN BULK DENSITY)

A densidade aparente da copa define-se como a fitomassa presente numa unidade de volume de copa (Scott e Reirnardt, 2001). Em geral a Crown Bulk Density (CBD), é a carga de combustível na copa (usualmente equiparada às folhas) a dividir pelo comprimento da copa, em unidades compatíveis (de forma a ser expressa em $kg/m^3$).

A tabela seguinte resume as equações aplicadas as variáveis biométricas que integram a Base de Dados da CELBI, para obtenção dos parâmetros do copado.

*Tabela 11: Ecuações utilizadas para o cálculo dos parâmetros de copa*

| | EQUAÇÃO | REFERÊNCIA |
|---|---|---|
| Eq. 1 | $CA = e^{(1.444+(-7.613/dbh)}$ | Cruz & Viegas, 1998 |
| Eq. 2 | $CBD = 0.649 - 0.001BA - 0.486CA^{0.089}$ | Cruz & Viegas, 1998 |
| Eq. 3 | $CL = H\ (1/(1+e^{-(-2.3813+8.875766(1/t)-0.54464(N/1000)-0.32621Hdom+0.213794dap)})^{1/6})$ | Soares & Tomé, 2001/ Tânia Oliveira (comunicação pessoal) |
| Eq. 4 | $H = 1.30+Hdom(1+(-0.43487-0.0108t+0.09772Hdom-0.06021dg)e^{-0.04864Hd})(1-e^{-1.58926d/Hd})$ | Soares & Tomé, 2002 |

CA – crown area ou área de copa ($m^2$); dbh – diâmetro à altura do peito (cm); CBD – crown bulk density ou densidade do copado ($kg/m^3$); BA – área basal ($m^2/ha$); CL – crown length ou comprimento da copa (m); H – altura média do povoamento (m); t – idade do povoamento (anos); N – densidade do povoamento (árv/ha); Hdom – altura dominante do povoamento (m); dg – diâmetro médio

### c) Distribuição classes de idade

Primeiramente, foram criadas as classes de idade segundo a tabela 12, e posteriormente os 4 cenários com as distribuições (ver figura 12):

- Decrescente: indica que a área ocupada está na sua maioria nas classes de idade mais jovens

- Crescente: indica que a área ocupada está na sua maioria nas classes de idade mais velhas

**-** Normal: indica que a área ocupada está na sua maioria concentrada nas classes de idade centrais, havendo uma diminuição da área ocupada quando se observam as classes extremas

**-** Constante: a área ocupada em cada classe de idade é constante

*Tabela 12: Classes de idade*

| Classe de Idade | Intervalo de Idade |
|---|---|
| 1 | ]0,1] |
| 2 | ]1,2] |
| 3 | ]2,3] |
| 4 | ]3,4] |
| 5 | ]4,5] |
| 6 | ]5,6] |
| 7 | ]6,7] |
| 8 | ]7,8] |
| 9 | ]8,9] |
| 10 | ]9,10] |
| 11 | ]10,11] |
| 12 | ]11,12] |
| 13 | ]12,+00] |

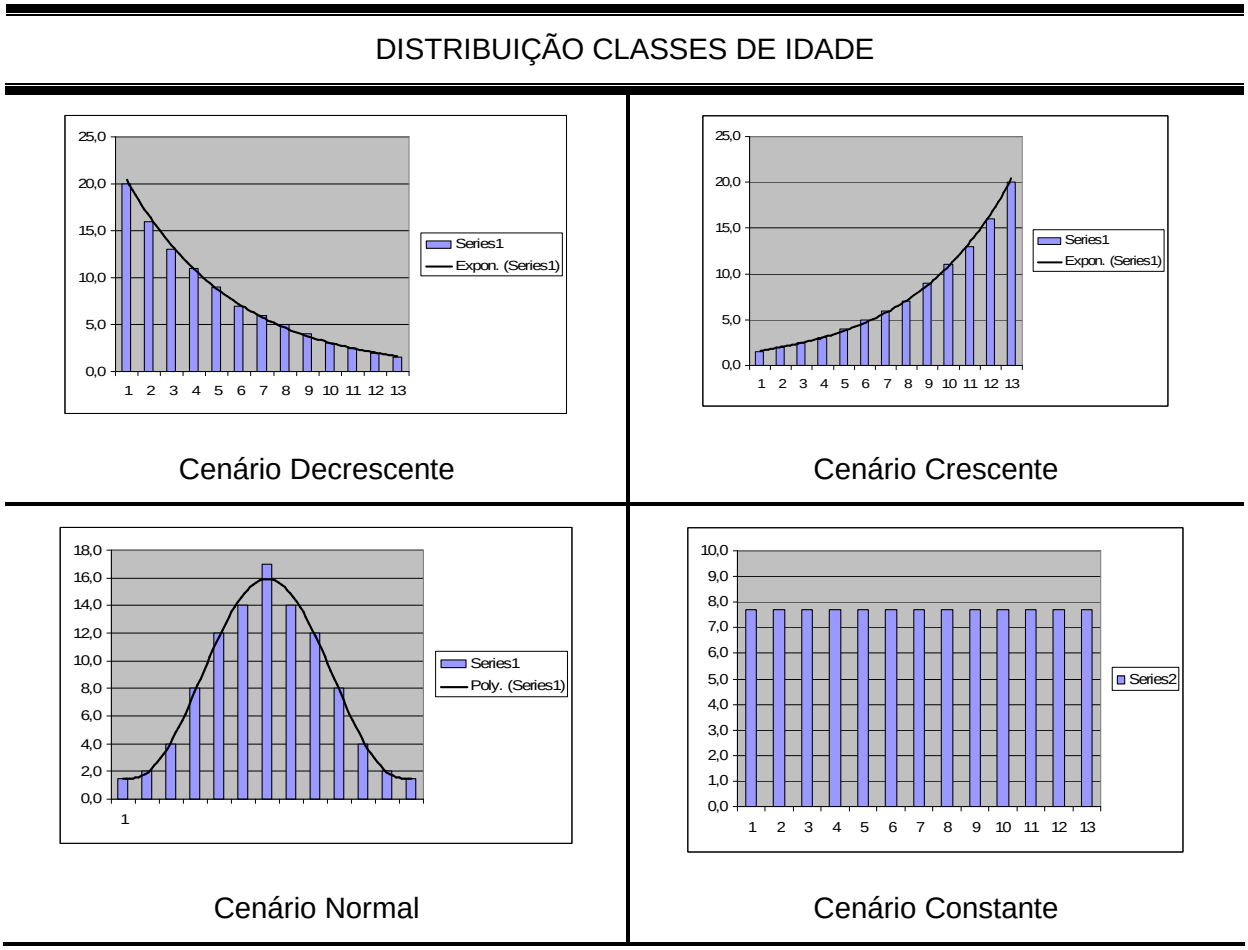



*Figura 12: Distribuição das classes de idade em cada um dos cenários silvícolas*

### 3.2.4 Inputs simuladores

A simulação com FlamMap precisa de informação espacial dos três principais factores do meio ambiental, já anteriormente mencionados, que afectam o comportamento do fogo: topografia, vegetação e condições meteorológicas. Todos estes ficheiros são pedidos no formato ASCII. Assim são precisos mapas das variáveis que se seguem, para simular o fogo da superfície:

- Altitude (metros, pés).
- Exposição (graus, percentagem).
- Declive (classe, graus, percentagem).
- Modelo de combustível (classe, custom).
- Coberto arbóreo (classe, percentagem).

Também se possibilita, de forma opcional, a introdução de mapas relativos a três variáveis que permitem caracterizar o estrato arbóreo, para calcular o fogo de copas:

- Altura dominante do povoamento (metros, pés)
- Altura da base da copa (metros, pés)
- Densidade aparente da copa (kg/m$^3$, libras/pés$^3$)

No caso de não haver informação para completar a pasta da paisagem é possível o programa atribuir valores constantes aos diferentes mapas.

Os mapas de entrada no FlamMap são constituídos por um conjunto de linhas e colunas de células. Cada célula tem associado um valor que varia no espaço. Todos os ficheiros usados para criar a paisagem (LCP) devem ter a mesma resolução, os mesmos pontos de referência, o mesmo sistema de projecção, as mesmas unidades e os mesmos limites. No caso dos temas auxiliares não é preciso ter a mesma resolução, mas devem ter a mesma projecção e pontos de referência.

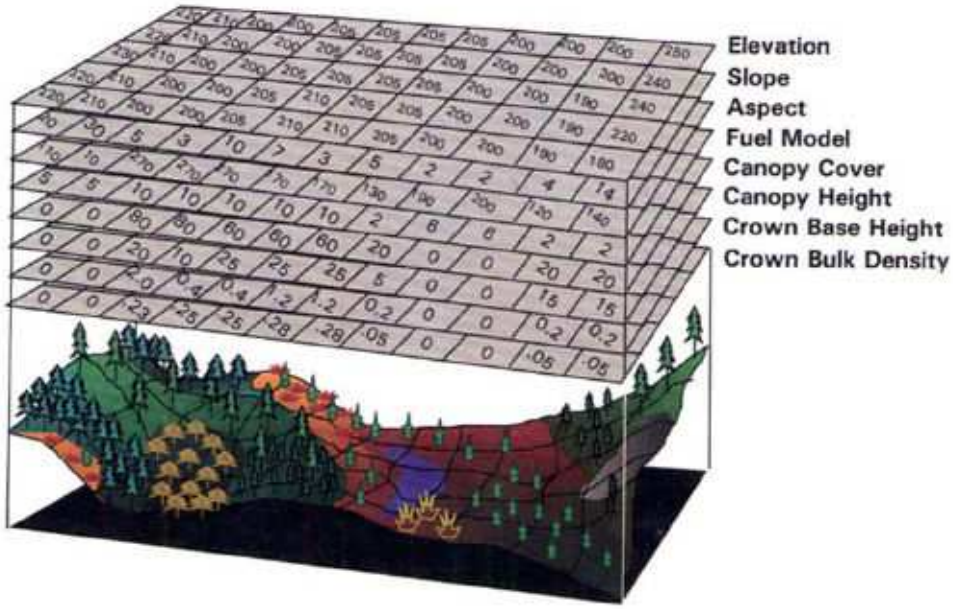



*Figura 13: Layers parar produzir a pasta paisagem (topografia e vegetação) (Finney, 2003).*

Além das variáveis que descrevem a paisagem (Topografia, varáveis caracterizadoras do combustível) para simular o comportamento do fogo em superfície e no caso do fogo de copas, é necessário definir os parâmetros que caracterizam as condições meteorológicas sob as quais se pretende estudar o fogo. O FlamMap permite introduzir uma pasta com informação detalhada, sobre as variáveis que definem o teor de humidade do combustível condicionada pelo vento e a meteorologia pontual, mas também permite usar valores fixos, provenientes da pasta do teor de humidade do combustível que é o caso utilizado no presente trabalho.

Foram construídos mapas da área de estudo relativos aos diferentes temas referidos no ponto anterior, necessários para ser introduzidos no programa FlamMap. Para produzir os mapas usou-se o programa ArcGIS 9.3. e com mapas iniciais com um tamanho de célula de 25 x 25 metros. Esta resolução espacial do modelo digital do terreno (MDT) é utilizada para a produção das *Layers* de altitude, declive e exposição, implicando que os restantes mapas apresentem a mesma resolução. Nos próximos parágrafos encontra-se descrito mais detalhadamente este processo.

## Uso de FlamMap.

Como é referido o uso do software FlamMap precisa de um ficheiro LCP “Landscape File”. Este ficheiro deve ter cinco temas que são fundamentais para a estimativa dos parâmetros do comportamento do fogo: altitude (elevation), declive (slope), exposição (aspect), modelo de combustível (fuel model) e percentagem de coberto (canopy cover) nas copas. Todas as capas requeridas (*layers*) foram previamente criadas em ArcGIS em formato RASTER e para a sua incorporação no FlamMap, tiveram que ser fornecidos em formato ASCII com o mesmo.

## Uso de ArcGIS.

Utilizou-se ArcGis 9.3 em primeiro lugar; para a criação dos ficheiros ASCII necessários para a criação do LCP, e em segundo lugar; para a criação dos mapas dos inputs que aparecem nos anexos da presente tese, mediante simulações feitas com FlamMap pois foram obtidos os mapas de cada input em formato ASC.

## 3.3 Simulação do comportamento do fogo

Para o diagnóstico da variabilidade e propagação dos incêndios florestais numa determinada área, é preciso manusear uma base científica e técnica a partir da qual é possível obter uma importante ajuda na tomada de decisões de uma forma objectiva na precedência da gestão dos recursos, disponíveis para fazer investimentos na Floresta. A disponibilidade de softwares informáticos nos quais se integrem o conjunto de variáveis que identificam a propagação e emissão energética das chamas, constitui um elemento de apoio para as estratégias de defesa da superfície florestal perante os fogos na floresta (Rodriguez e Silva, et al. 2010).

Os sistemas de simulação do comportamento do fogo são aplicações informáticas capacitadas para proporcionar informação sobre a simulação do perímetro do fogo e as principais características relacionadas com a propagação e comportamento do fogo; disponibilizando tabelas e gráficos para uma melhor representação dos mais usuais parâmetros do fogo (Salis, 2007).

### 3.3.1 Selecção do software

Uma das primeiras tarefas desempenhadas para o desenvolvimento do presente trabalho foi a pesquisa e posterior selecção do software (simuladores do fogo) mais adequado para atingir os objectivos pretendidos. Uma primeira análise dos programas existentes a nível nacional e internacional a partir de bibliografia e uma rápida avaliação das capacidades fornecidas, resultou num pequeno relatório no qual estão resumidos as potencialidades e debilidades dos programas considerados mais relevantes, segundo as necessidades do presente trabalho.

### 3.3.2 Programa FlamMap

FlamMap é um software de simulação dos incêndios florestais criado pelo Forest Service (“Rocky Mountain Research Station”) com objecto do apoio aos trabalhos de gestão preventiva perante incêndios florestais. FlamMap é amplamente utilizado pelo USDI Nacional Park Service (USDA Forest Service), assim como outras associações estatais ou federais, para a protecção dos recursos florestais perante os fogos florestais. (Rodriguez e Silva et al, 2010).

O simuador calcula as seguintes variáveis caracterizadoras do comportamento do fogo com recurso aos respectivos modelos matemáticos:

- Comportamento do fogo de superfície. Modelo de Rothermel (1972).
- Iniciação do fogo de copas. Modelo de Van Wagner (1977).
- Propagação do fogo das copas. Modelo de Rothermel (1984).

- Humidade do combustível morto. Modelo de Nelson (2000).

- Propagação do fogo das copas. Modelo de Scott y Reinhardt (2001).

O FlamMap é um programa de análise espacial de comportamento do fogo, isto é, calcula as variáveis caracterizadoras com base em informação fornecida sob forma de mapas e representa os resultados da mesma forma. A componente de análises espacial implica que, para o cálculo das características do comportamento do fogo, os dados sejam fornecidos sob a forma de mapas georreferenciados. O programa constrói uma paisagem representativa da área para a qual se pretende estudar o comportamento do fogo e para a qual serão analisadas diferentes situações em função da variação de parâmetros dos diferentes cenários silvícolas e meteorológicos que são criados previamente.

Entre as aplicações que o FlamMap possui, as fundamentais e mais destacadas são:

- Calculo dos parâmetros de comportamento do fogo.

- A elaboração dos índices de perigo ou risco.

- O desenho de tratamentos preventivos superficiais.

- A ruptura da propagação do fogo da copa.

- A redução da probabilidade de transição do fogo às copas.

- A localização de pontos estratégicos para a realização de queimas controladas.

As características caracterizadoras do comportamento do fogo que são possíveis de obter com FlamMap:

- Intensidade da linha de chama (ILC) em KW/m.

- Taxa de propagação (TP) em m/min.

- Cumprimento da chama (CL) em metros.

- Calor libertado por unidade de área (CL) em $KJ/m^2$.

- Ocorrência do fogo de copas (Fcopas).

- Taxa de movimento horizontal (m/min).

- Direcção de máxima propagação (graus).

- Dimensões elípticas a, b e c geradas pelo área do fogo (m/min).

- Velocidade do vento a meia altura da chama (Km/h).

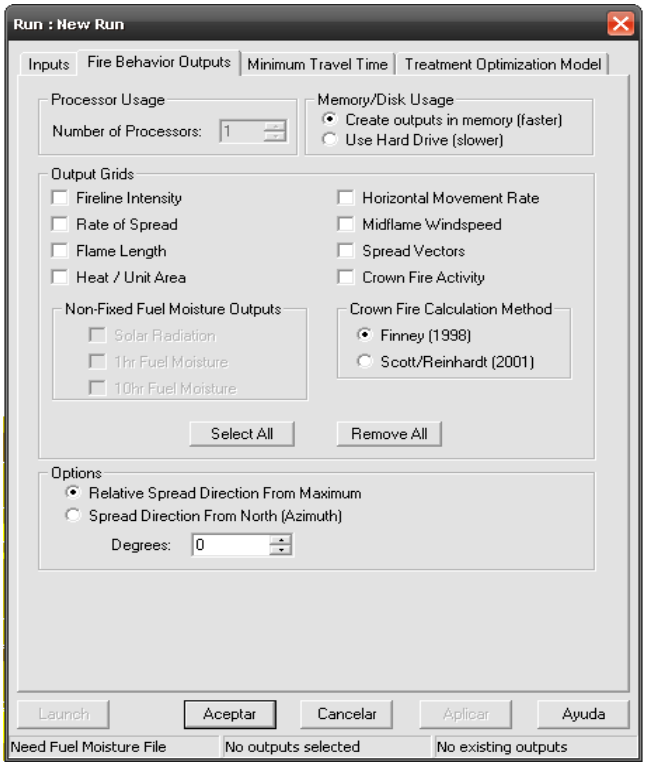



*Figura 14: Janela que mostra os parâmetros do comportamento do fogo*

Os parâmetros anteriores, são completados por mais três quando é utilizada a variante de incorporação da humidade do combustível com base nas condições meteorológicas: radiação solar ($W/m^2$), teor de humidade do combustível morto de 1 hora de resposta (%), teor de humidade do combustível morto de 10 horas de resposta.

As variáveis anteriores são representadas sob a forma de um mapa. Deste modo, ao conjunto de atributos que definem cada célula é adicionado o atributo que representa o valor calculado para cada uma das variáveis do comportamento do fogo. A principal singularidade que tem o FlamMap em relação a outros Simuladores

(por exemplo Farsite) é que cada célula do mapa arde de forma independente em função da sua combinação única de altitude, exposição, declive e combustível. Deste modo o comportamento do fogo é calculado de forma independente das células vizinhas. Não se tem em conta o factor tempo na simulação.

Neste trabalho apenas são calculadas cinco das variáveis fundamentais (ILC, CL, TP, AC, Fogo de copas) para analisar o comportamento do fogo em termos de severidade.

## 3.5 Variáveis caracterizadoras do comportamento do fogo (Outputs)

O simulador FlamMap é capaz de fornecer diferentes variáveis para a descrição do comportamento do fogo, já enumeradas no capítulo anterior. No presente trabalho foram calculadas e utilizadas na análise, as seguintes variáveis:

- Taxa de propagação (m/min).
- Calor libertado por unidade de área (kJ/m2).
- Intensidade da linha de chama (kW/m).
- Altura da chama (m)
- Tipo de fogo (superfície, passivo e/ou activo)

A taxa de propagação (TP) ou avanço da linha de fogo representa o espaço linear (metros) percorrido pela frente de chama por unidade de tempo (minutos). O Calor libertado por unidade de área (CL) é o calor libertado pela frente de chamas por unidade de área (metro ao quadrado). A intensidade da linha de chama (ILC) representa o calor libertado (kW) por unidade linear e por segundo na linha de fogo. Está relacionada com a dificuldade em conter o fogo.

Os valores de TP podem ser avaliados com o critério apresentado na tabela abaixo

*Tabela 13: Classificação da taxa de propagação (Vega, 1987)*

| Taxa de propagação | Classificação da TP |
|---|---|
| < 2 m/min | Lenta |
| 2-10 m/min | Mediana |
| 10-40 m/min | Alta |
| 40-70 m/min | Muito alta |
| >70 m/min | Extrema |

A intensidade da linha de fogo baseia-se tanto na taxa de propagação como no calor por unidade de área. Assim estas duas variáveis estabelecem uma relação entre elas resultando a (ILC). A relação estabelecida entre as mesmas pode ser traduzida em forma de gráfico. Os valores, que estas variáveis adquirem, podem ser descritos por um conjunto de curva hiperbólicas que representam valores de ILC que se mantém constantes para diferentes combinações de valores entre CL e TP. Estas são conhecidas como curvas características do comportamento do fogo (Figura 15).

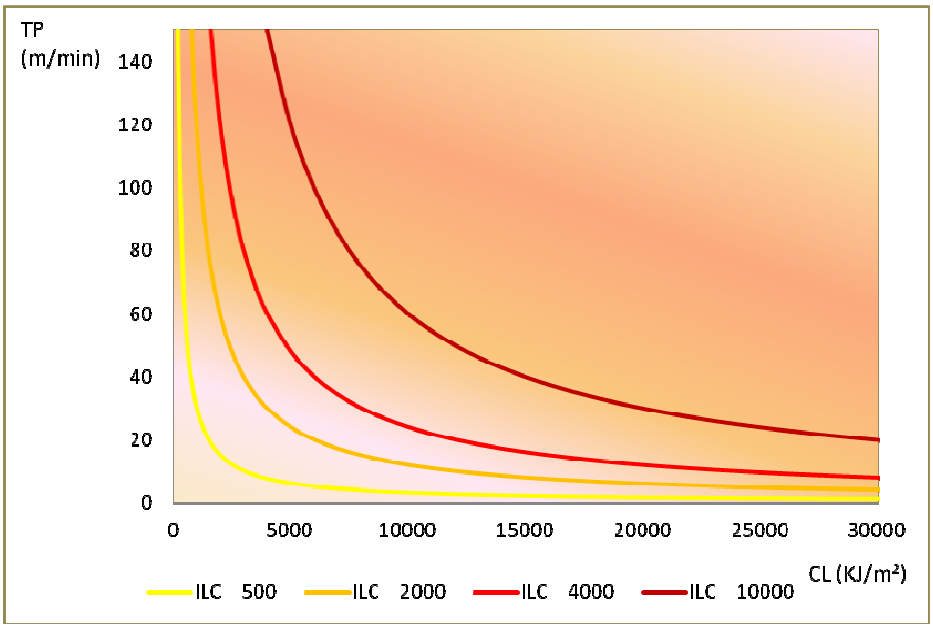



*Figura 15:: Relação entre a taxa de propagação (TP), calor libertado por unidade de área (CL) e intensidade da linha de chama (ILC) expressa através de diferentes curvas característica adaptado de Alexander e Lanoville (1989).*

Deste modo, a partir do anterior gráfico é possível avaliar o carácter do comportamento do fogo de forma pontual. Também permite a classificação dos diferentes cenários de distribuição de idade e a sua avaliação, segundo a quantidade de área ocupada por cada classe de comportamento de fogo nos mesmos.

A variável ILC pode ser interpretada em termos de classes de dificuldade de contenção do fogo ( Alexander e Lanoville , 1989), como se apresenta na tabela 14. O limite superior de cada uma das classes de ILC representadas na Tabela corresponde a um a isolinha de ILC na Figura 15.

A constituição de classes de ILC não quantifica os efeitos de um fogo, mas estabelece uma gradaçao qualitativa em termos de ILC, com correspondência no comportamento do fogo e consequentemente nos efeitos por ele induzidos.,

*Tabela 14:* Limites numéricos das classes de perigo do fogo baseado na relação da intensidade de linha de chama e nas actividades de supressão. Adaptado de Alexander e Lanoville (1989).

| Classe de comportamento | Intensidade da linha de chama (kW/m) | Interpretação da dificuldade de supressão |
|---|---|---|
| **Baixo (Low)** | ILC < 500 | Possibilidade de ataque directo na frente de chama ou nos flancos do fogo com ferramentas manuais |
| **Moderado (Moderate)** | 500 < ILC < 2000 | O uso de água e de operações com meios mecânicos são necessárias. A supressão do fogo desde a terra ainda é eficaz |
| **Intenso (Hight)** | 2000 < ILC < 4000 | Meios aéreos são precisos para o ataque directo na frente de chama |
| **Muito Intenso (Very hight)** | 4000 < ILC < 10000 | O ataque directo, o controlo da frente de chama requer a utilização de meios mecânicos e aéreos pesados |
| **Crítico (Extreme)** | ILC > 10000 | Comportamento extremo do fogo. Fogos com múltiplas frentes de chamas, ocorrência de fogos de copas, projecção de material incandescente. O ataque directo na cabeça é ineficaz. Os combatentes são forçados a trabalhar nos flancos e na retaguarda |

Para o cálculo dos intervalos da altura da chama foi aplicada uma equação desenvolvida por Byram (1959), a partir dos valores usados de ILC de Alexander e Lanoville (1989).

$L = 0.0775 * I * 0.46$

Donde: L = altura da chama (m), e I = intensidade da linha de chama (kW/m).

Relativamente ao tipo de fogo estes podem ser classificados de acordo com o seu comportamento como fogos de superfície, quando se propagam através da combustão com chama junto da superfície do solo (herbáceas, arbustos e material lenhoso caído sobre a folhada), fogo de copas, quando consomem as copas das árvores, e fogos subterrâneos, quando consomem combustíveis orgânicos sob a superfície. Os fogos de copas podem envolver uma gama de fenómenos que vao desde ignição de copas individuais (“torching”), ocorrendo um fogo de copas passivo , até à propagação do fogo através das próprias copas, caracterizando-se o fogos de copas como activos.

De acordo com Van Wagner (1977) e Alexander (1988), a distinção entre um fogo de superfície, um fogo de copas passivo e um fogo de copas activo, é feita em função de critérios para o início e propagação do fogo.

Em termos de comportamento do fogo, a intensidade da linha de chama (ILC) do fogo na superfície é comparada com um limiar crítico de intensidade de linha de chama, a partir do qual se espera a ocorrência de um fogo de copas. Este limiar crítico de ILC, a partir do qual se espera a ocorrência de um fogo de copas, é particularmente função do teor de de humidade da folhagem e ainda da altura da base da copa (HBC). Se este valor crítico é atingido, então é de esperar um fogo de copas que pode ser do tipo passivo ou activo. O que distingue estes dois tipos de fogos de copas é um valor crítico para a taxa de propagação (TP). Se este valor não for ultrapassado é esperado um fogo de copas passivo que se traduz através das árvores a arderem isoladamente nao propagando o fogo ao nível do copado, como acontece com o fogo de copas activo. Para que um fogo de copas activo ocorra

terão que ser ultrapassados os limiares críticos de ILC e TP (Csott e Reinhardt , 2001).

## 3.6 Comportamento do fogo

Exportando a uma pasta os mapas das variáveis caracterizadoras do comportamento do fogo (uma vez obtidos), junto aos mapas com os outros parâmetros nos quais foi simulado o fogo (altura, declive, exposição, modelo de combustível, percentagem de coberto, altura dominante, altura da base da copa e densidade aparente) agruparam-se na totalidade um conjunto de 20 mapas que caracterizam toda a simulação. Estes representam o acontecimento de fogo num cenário meteorológico fixo e para um cenário de distribuição das classes de idade também fixo. Obtendo-se um total de 180 combinações possíveis (9 cenários meteorológicos; 3 humidades x 3 ventos, por quatro cenários de distribução do combustivel).

Os dados foram obtidos a partir do FlamMap, nas propriedades de cada mapa, a partir do número de píxeles que estão incluídos em cada intervalo de cada parâmetro.

## 3.7 Apuramento de resultados

Para a elaboração dos resultados foram criadas tabelas que podem ser consultadas no Anexo 28. Estas tabelas foram feitas para cada uma das variáveis que sairam do simulador (AC, TP, ILC, CL e Tipo de fogo). Os valores que apresentam são os da percentagem da área que ocupam cada um dos intervalos de cada uma das variáveis (em cada uma das 36 combinações possíveis das quatro classes de distribuição de idade, das três humidades e para cada uma das três velocidades de vento).

Estes valores que constituem as tabelas foram retirados manualmente dos respectivos mapas das variáveis em cada simulação, e servirão para analisar o tipo de fogo que ocorre nos 36 casos (tabela 18); nas condições meteorológicas mais severas (4% de humidade e 40 km/h de vento), o tipo de combate necessário (funcão da ILC) e a percentagem de área que cada tipo de fogo ocupa (figuas 18 e 20)

Tiraram-se também os valores máximos de TP, ILC e CL de cada pixel em cada mapa, e a partir destes criaram-se as tabelas 15, 16, 17 que deram lugar às figuras 16, 17, 19.

# CAPÍTULO IV: RESULTADOS e DISCUSSÃO

Todos os mapas resultantes das simulações realizadas tomando em consideração quatro distribuições de idade x três cenários meteorológicos x três velocidades de vento encontram-se para consulta nos Anexos 7 a 27. No Anexo 28, encontram-se as respectivas tabelas com indicação de percentagens de ocupação de cada output (altura da chama, Taxa de propagaçao, intensidade da linha da chama, Calor libertado por unidade de área, tipo de fogo) em cada distribuição de idade.

Das variáveis caracterizadoras do comportamento do fogo, calculadas pelo Sistema FlamMap, são principalmente utilizadas as variáveis taxa de propagação (TP), calor libertado por unidade de área (CL) e a intensidade da linha da chma (ILC). Nos sub-capítulos que se seguem estas últimas são analisadas mais detalhadamente.

## 4.1 Análise do comportamento potencial do fogo

### 4.1.1 Taxa de propagação

A tabela seguinte apresenta os valores máximos da taxa de propagação (m/min) dos pixeis em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade.

Pela análise da tabela conclui-se que o aumento da TP é proporcional ao aumento da velocidade do vento; duplicando, na transição de velocidade do vento de 20 para 40 km/h nas quatro distribuições de idades. Contudo, a variável sofre um aumento gradual na passagem dos cenários meteorológicos, independentemente da velocidade do vento sendo mais abrupto na distribuição normal, na transição do cenário controlo para o crítico como pode ser constatado no respectivo mapa do Anexo 14.

*Tabela 15: Variação dos valores máximos da taxa de propagaçao (m/min) em função do cenário meteorológico e da veloidade do vento para cada distribuição de idade.*

| CRESCENTE | | | |
|---|---|---|---|
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 11,5 | 12,9 | 15,2 |
| 20 km/h | 12,6 | 16,7 | 21,0 |
| 40 km/h | 33,1 | 36,6 | 42,5 |
| DECRESCENTE | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 5,4 | 12,2 | 15,0 |
| 20 km/h | 4,1 | 19,2 | 22,3 |
| 40 km/h | 2,2 | 36,6 | 42,5 |
| NORMAL | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 12,0 | 13,3 | 15,4 |
| 20 km/h | 16,7 | 18,7 | 22,1 |
| 40 km/h | 33,1 | 36,6 | 42,5 |
| CONSTANTE | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 7,2 | 8,1 | 9,4 |
| 20 km/h | 12,6 | 13,9 | 16,2 |
| 40 km/h | 28,9 | 32,0 | 37,2 |

A transição desta variável é facilmente observada na figura 16 que suporta a leitura da tabela anterior.

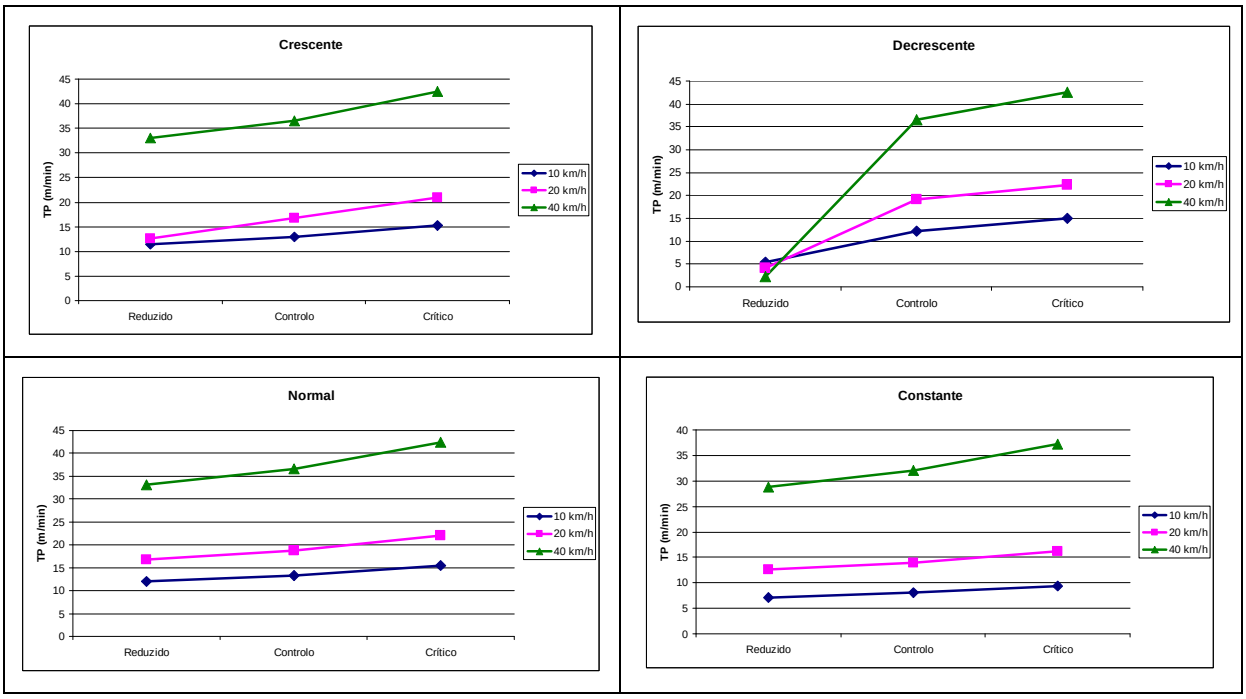



*Figura 16: Variação dos valores máximos da taxa de propagação em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade*

O valor de TP mais elevado é de 45,2 m/min, correspondendo segundo Vega (1987) a uma taxa de propagação *muito alta*, e é registada em todas as distribuições, à excepção da distribuição Constante que apresenta uma TP classificada como *alta* (37,2 m/min), Como se pode constatar da transição dos cenários meteorológicos na àrea Globland (Mapas  Anexos 12 a 14).

Segundo a tabela “Taxa de propagação” (Anexo 28), para uma situação mais severa (humidade 4% e vento 40 km/h) a maior percentagem de ocupação da área globland, com valores superiores de TP a 27.9 m/min, surge na distribuição Decrescente (63.9%) seguida da distribuição Normal com 63,7%. Valores de TP superiores 27.9 m/min preveêm-se menos frequentes na distribuição crescente, ocupando apenas 38,9% da área.

### 4.1.2 Intensidade da linha de chama

Os valores máximos da variável ILC, são apresentados na tabela que se segue e representados graficamente na Figura 17. Esta variável varia com a velocidade do vento de forma semelhante à TP para todos os cenários meteorológicos estudados. O aumento da velocidade do vento de 10 km/h para 20km/h conduz a aumentos de ILC para o dobro e de 20km/h para 40km/h para mais do dobro como sucede com as distribuições "decrescente" e "constante".

*Tabela 16: Variação dos valores máximos da linha de chama (kW/m) em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento (km/h), para cada distribuição de idade*

| CRESCENTE | | | |
|---|---|---|---|
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 4718 | 6620 | 10214 |
| 20 km/h | 6747 | 10057 | 15446 |
| 40 km/h | 23840 | 27529 | 34086 |
| **DECRESCENTE** | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 2283 | 4774 | 6231 |
| 20 km/h | 1671 | 8058 | 10923 |
| 40 km/h | 893 | 25106 | 31010 |
| **NORMAL** | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 7294 | 8684 | 11134 |
| 20 km/h | 10737 | 12874 | 16695 |
| 40 km/h | 23225 | 26763 | 33047 |
| **CONSTANTE** | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 3880 | 4759 | 6303 |
| 20 km/h | 6684 | 8294 | 11188 |
| 40 km/h | 21551 | 24848 | 31739 |

Considerando o cenário reduzido na distribuição "decrescente", o valor da ILC, apresenta um aumento extremamente elevado, relativamente ao cenário crítico para velocidades de vento de 20 e 40 km/h (Mapa no Anexo 16). Os cenários meteorológicos controlo e crítico nas restantes distribuições apresentam aumentos graduais. As figuras que se seguem permitem mais facilmente identificar os aspectos anteriormente mencionados.

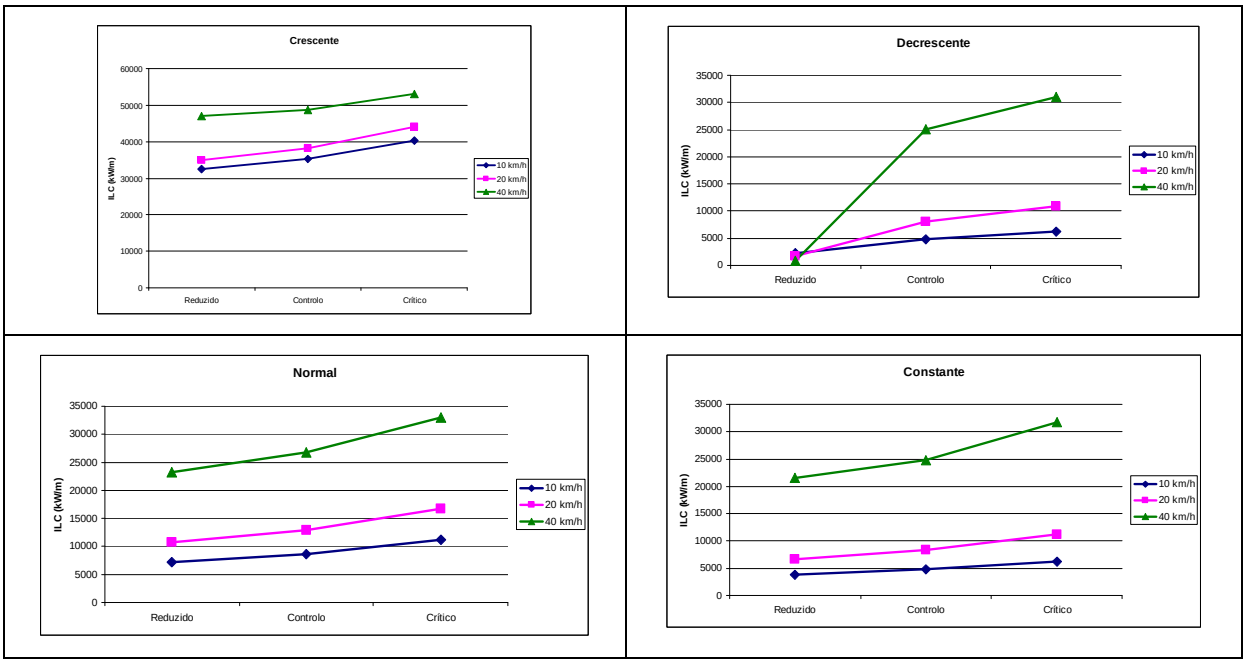



*Figura 17: Variação dos valores máximos da linha de chama em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade*

O valor mais elevado de ILC (34.086 kW/m) é registado no cenário crítico/ vento 40 km/h para distribuição de idades "crescente", seguido por ordem decrescente pela distribuição "Normal" com 33.047 kW/m e por fim distribuição "descrescente" e "constante" com 31.739 e 31.010 kW/m, , respectivamente.

Para melhor interpretação dos valores ILC em termos de dificuldade de contenção de um fogo, apresenta-se na figura 18 , os gráficos elaborados para a situação meteorológica mais severa (4% de humidade e 40 km/h de vento), para as quatros distribuições de idades, com a classificação segundo o critério Alexander e Lanoville (1989).

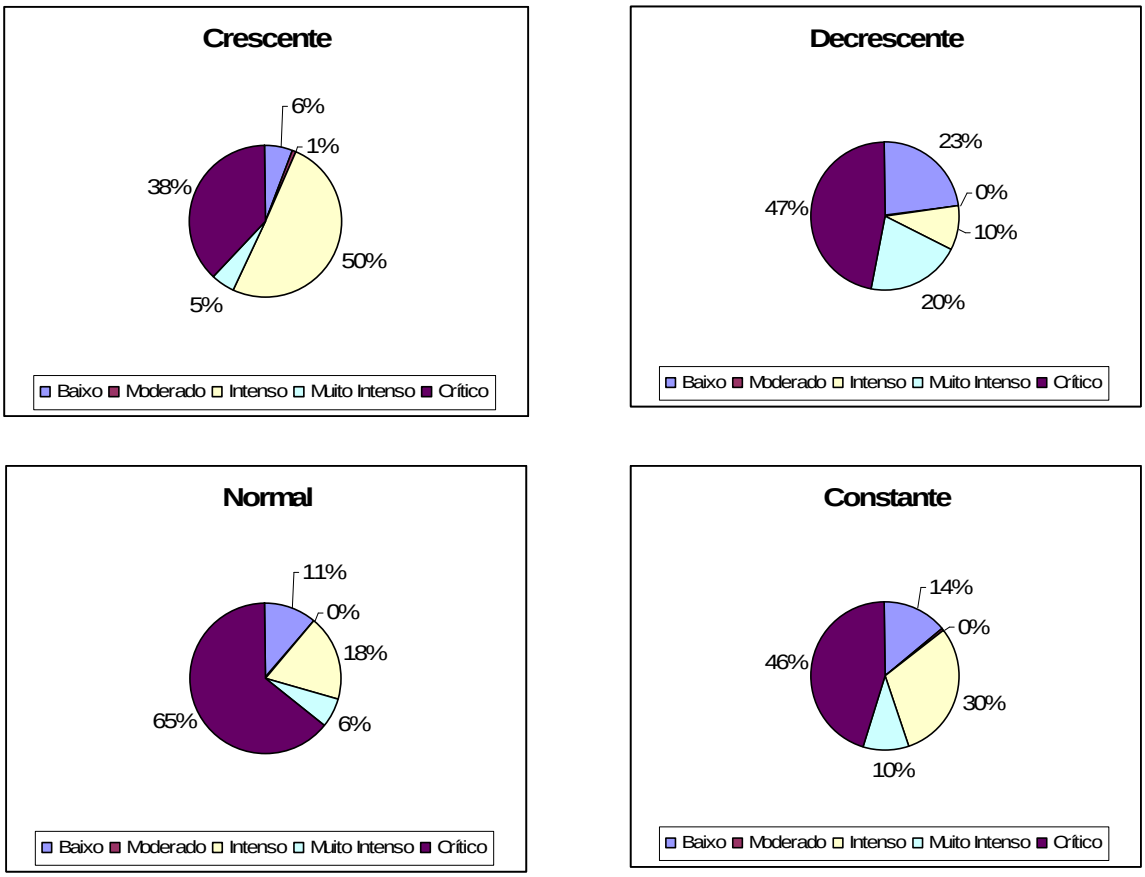



*Figura 18: Percentagem de área ocupada sobre o total ocupado pelas diferentes intensidades da linha de chama no cenário meteorológico severo (4% de humidade) e a 40 km/h de vento, para cada distribuição de idade*

Como se pode, facilmente, constatar o tipo de fogo com comportamento "*crítico"* é o mais representativo nas distribuições Normal, Constante e Decrescente, com 65%, 46% e 47%, respectivamente (Mapas nos Anexos 18, 16 e 19 e Tabela" Intensidade da Linha da Chama" Anexo 28). Este valores de ILC correspondem a um fogo com múltiplas frentes, propagando-se pelas copas, com projecção de material incandescente (Alexander e Lanoville ,1989). No caso da distribuição crescente 50% da área de eucalipto encontra-se classificada como um comportamento do fogo "*intenso"* e apenas 38% como *"crítico"* (Mapa Anexo 17).

### 4.1.3 Calor libertado por unidade de área

O calor libertado também é apresentada a partir do valor máximo que atinge os pixeis de cada mapa de distribuição e cenários meteorológico (Tabela 16).

*Tabela 17: Variação dos valores máximos do calor libertado (kJ/m$^2$) em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade*

| CRESCENTE | | | |
|---|---|---|---|
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 32480 | 35327 | 40368 |
| 20 km/h | 35011 | 38179 | 44129 |
| 40 km/h | 46981 | 48815 | 53167 |
| **DECRESCENTE** | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 27312 | 34940 | 39625 |
| 20 km/h | 24961 | 38623 | 43966 |
| 40 km/h | 25174 | 48815 | 51835 |
| **NORMAL** | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 36583 | 39217 | 43296 |
| 20 km/h | 38620 | 41318 | 47119 |
| 40 km/h | 46981 | 48815 | 53167 |
| **CONSTANTE** | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | 32750 | 35774 | 40532 |
| 20 km/h | 35899 | 39051 | 43927 |
| 40 km/h | 46117 | 47950 | 52753 |

A análise da tabela 17 permite verificar que o CL se mantém constante para velocidade de vento de 10 para 20 km/h e que aumenta dos 20km/h para os 40km/h.

Relativamente ao cenário meteorológico, o CL na distribuição “descrescente” reflecte um aumento entre o cenário reduzido e cenário crítico, apresentando acréscimos graduais entre cenários para as restantes distribuições de idades, independentemente da velocidade do vento. Os gráficos que se seguem demonstram essa tendência (Figura 19).

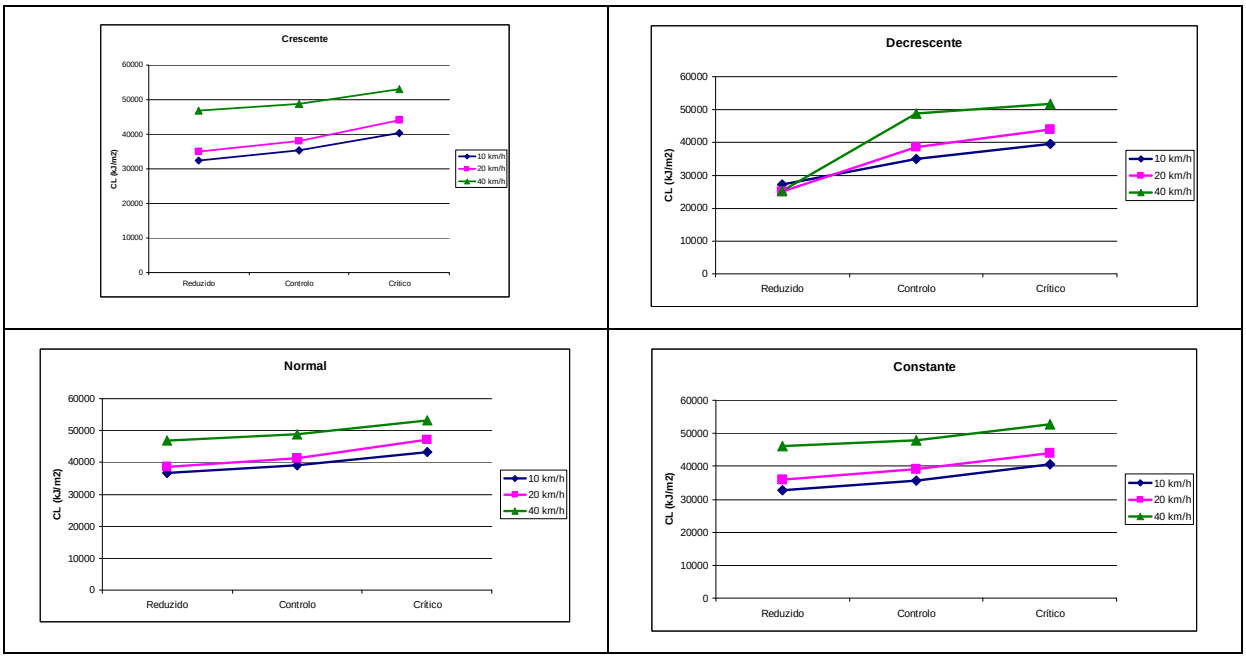



*Figura 19: Variação dos valores máximos do calor libertado (Kj/m$^2$) em função do cenário meteorológico e da velocidade do vento, para cada distribuição de idade*

O valor mais elevado de CL foi assinalado na distribuição Normal e Crescente (53.167 kJ/m$^2$) perante um cenário meteorológico crítico e velocidade do vento 40km/h (Mapas Anexos 9 e 10), seguido do Constante e Descrescente com 52.753 e 51.835 kJ/m$^2$, respectivamente (Mapas Anexo 8 ). Contudo, regista-se uma previsão de 59% de ocorrência de calor libertado entre 40000 - 50000 kJ/m$^2$ . Para a distribuição normal, seguido do constante com 36.2% da área. Por seu turno valores superiores a 50000 kJ/m$^2$ apenas se registam na combinação 4% Humidade e 40 km/h Vento com 2,2% e 1,9% nas distribuições Normal e Decrescente, respectivamente.

### 4.1.4 Síntese variáveis TP, ILC e CL

Para as três variáveis analisadas, existe um decréscimo acentudado dos respectivos valores no cenário meteorológico reduzido, comparativamente aos restantes cenários. Dos três cenários meteorológicos este é o cenário que considera maior teor de humidade do combustível morto. A análise sugere que os valores mais reduzidos de TP, CL e ILC , no cenário reduzido estão associados ao teor de humidade de combustíveis mortos que lhe está implícito. Este considera teores de humidade próximos da gama de valores do teor de humidade de extinção, o que pode justificar este cenário gerar previsões de TP, CL e ILC reduzidas .

A variabilidade da velociade do vento e os valores alcançados em termos TP e ILC demonstraram que valores mais elevados (ex: 40 km/h) podem constituir um dos factores meteorológicos mais determinantes do comportamento do fogo,

A vegetação combustível específica de cada modelo de combustível relaciona-se com as TP permitindo verificar que valores mais elevados estão relacionados com o efeito da carga de biomassa e altura do combustível.

Os valores elevados de ILC estão associados ao aumento da TP, devido à redução da percentagem de coberto arbóreo. O aumento da TP em função da diminuição da percentagem de coberto arbóreo deve-se ao efeito das copas na redução da velocidade do vento. A análise sugere que o modelo de combustível e a percentagem de coberto arbóreo são elementos determinantes da ILC, pela influência que exercem no CL e TP, respectivamente.

## 4.2 Análise de ocorrência de fogo de copas

A ocorrência de fogos de copas, já amplamente aqui mencionado, resulta da combinação dos factores: Topografia, meteorologia e ainda do leito do complexo de combustível, particularmente de características próprias do povoamento relacionadas com o copado, como a altura da base da copa (HBC). Esta variável conjuntamente com a altura dos matos dá-nos a indicação da continuidade vertical entre os combustíveis de superfície e o copado.

Seguidamente, encontra-se detalhado para cada distribuição de idade.o tipo de fogo que corre em função do cenário meteorológico e velocidade do vento, epara cada distribuição de idade (Tabela 18).

*Tabela 18: Ocorrência de fogo de copas em função do cenário meteorológico e velocidade do vento (km/h), para cada distribuição de idade*

| CRESCENTE | | | |
|---|---|---|---|
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | Superfície e Passivo | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo |
| 20 km/h | Superfície e Passivo | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo |
| 40 km/h | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo | Superfície, Passivo e Activo |
| DECRESCENTE | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | Superfície e Passivo | Superfície e Passivo | Superfície e Passivo |
| 20 km/h | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo | Superfície, Passivo e Activo |
| 40 km/h | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo | Superfície, Passivo e Activo |
| NORMAL | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | Superfície e Passivo | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo |
| 20 km/h | Superfície e Passivo | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo |
| 40 km/h | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo | Superfície, Passivo e Activo |
| CONSTANTE | | | |
| Vento | Reduzido | Controlo | Crítico |
| 10 km/h | Superfície e Passivo | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo |
| 20 km/h | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo | Superfície, Passivo e Activo |
| 40 km/h | Superfície e Passivo | Superfície, Passivo e Activo | Superfície, Passivo e Activo |

Da análise da tabela anterior, verifica-se a ocorrência de fogo de copas passivo em todos as combinações analisadas. Da mesma forma, a ocorrência de fogo de copas activo também se verifica em todas as simulações testadas, do cenário severo com velocidade do vento de 20 e 40km/h em todas as dstribuições (Tabela “Tipo de fogo” – Anexo 28).

A figura 20 refere-se à previsão de percentagem de área percorrida pelos diferentes tipos de fogo para um cenário meteorológico severo (4 % de humidade) e 40 km/h de vento, para cada uma das distribuições de idade.

Como se pode observar a distribuição de idade Crescente é a que conduz a uma maior percentagem de fogo de superfície, aproximando-se dos 60% da área. È, igualmente, a distribuição que possui características em termos de combustíveis florestais (carga de combustível e de copado) com menos perigosidade o que leva a que menor percentagem de área origine um fogo de copas. De salientar, que esta distribuição é a que apresenta povoamentos mais adultos com menos parcelas nas idades mais jovens.

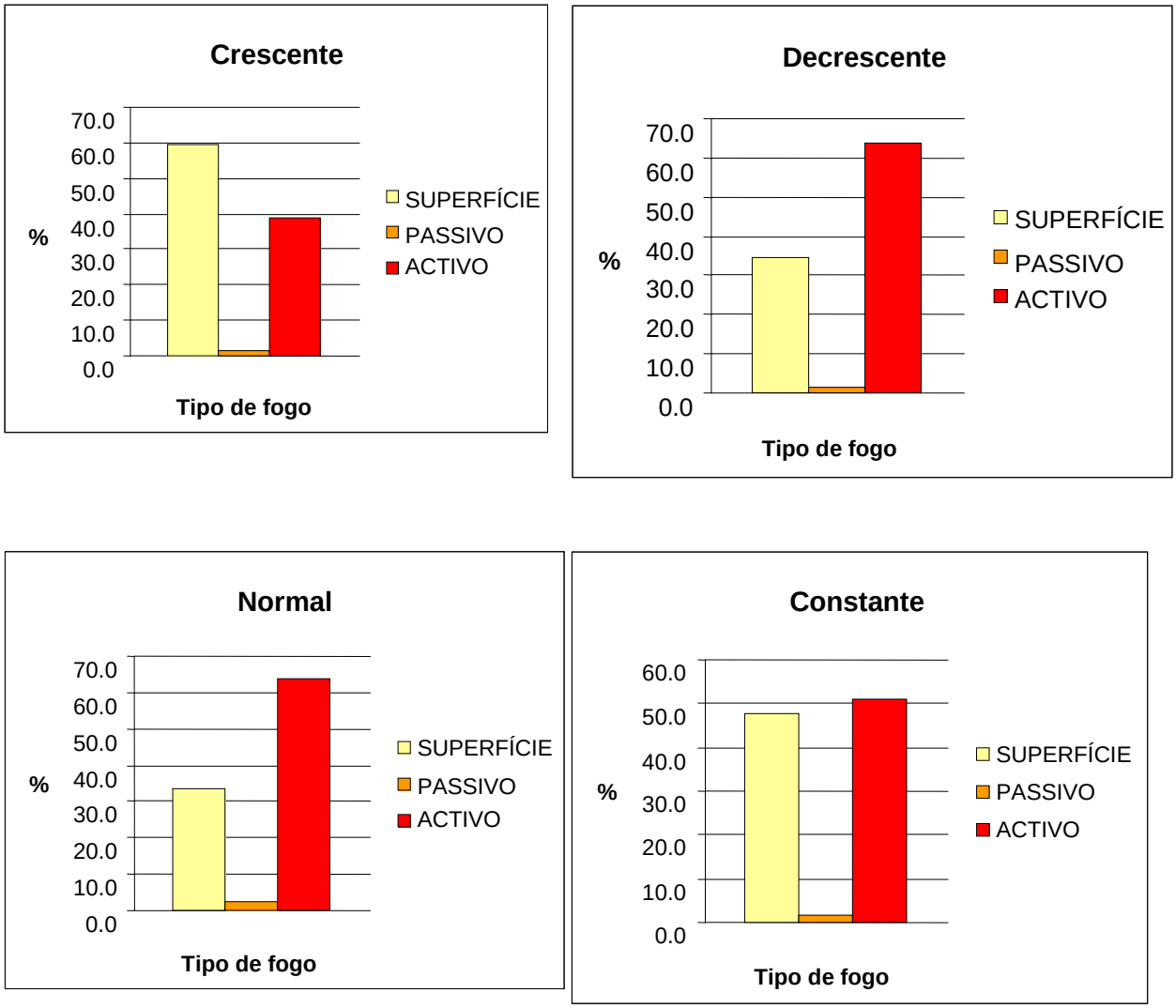



*Figura 20: Percentagem de área que ocupa  cada tipo de fogo*

A distribuição normal dos povoamentos de eucalipto numa paisagem tem a mesma previsão em termos de ocorrência de fogo de copas que a distribuição decrescente (63.7 %e 63.9,% respectivamente). Apesar do tipo de fogo passivo ter maior previsão de ocorrência na distribuição normal (2,6%). São duas distribuições que relevam possuir características mais propensas a ocorrência do fogo de copas.

Por seu turno, na presença de uma distribuição constante das idades dos povoamentos de  eucalipto  prevê-se um certo equilíbrio entre fogo de superficie e fogo de copas, 47.6% e  50.8(%), respectivamente distribuidos pela área.

## 4.3 Medidas de silvicultura preventiva

Na àrea Globland perante as quatro distribuições de idades, existem povoamentos de eucalipto com idade e rotação diferentes e diferentes características do copado, que no entanto se encontram representadas quer pelos modelos de combustível quer pelas variáveis biométricas (HBC, HDOM, CBD, entre outras). Deste modo, os povoamentos onde se prevê fogo de copas consideram-se zonas de intervenção prioritária, onde deverão ser estudadas e recomendadas medidas de silvicultura preventiva.

Dado que as plantações jovens possuem elevada carga de combustívrel por unidade de área e portanto, são capacides de em caso de incêndio, de gerarem comportamentos do fogo potencialmente severos, estas deverão ser alvo de especial vigilância.

Nos povoamentos com idade de 2 anos ou menos, deverão ser considerados alguns aspectos importantes. De acordo com os dados de inventário, verificou-se que estas plantações não têm uma altura da base da copas (HBC) ainda definida, verificando-se uma disposição continua dos ramos desde muito próximo da superfície do terreno.

A intervenção ao nível do subcoberto produz maior efeito na redução de ocorrência de fogos de copas. No entanto, a limpeza do sub-coberto, deverá ser apenas realizada para povoamentos com idade superior a 2 anos. Nas plantações jovens (até 2 anos), nao se recomenda a intervenção, dado que ainda nao foi realizada a primeira selecçao de varas e também pela sua vulnerabilidade enquanto povoamento.

Relativamente aos povoamentos jovens com 2 anos, embora seja reconhecido o seu potencial de fogo de copas, a realização de uma desrama nesta idade, quando ainda não foi realizada a primeira selecção de varas, não é na gestão florestal uma prática realizável. A redução da profundidade da copa nesta idade, para além de

implicar uma redução da capacidade fotossintética e portanto, do crescimento, não é economicamente viável,pois apenas faz sentido desramar e investir nas varas seleccionadas. A realização de uma gradagem nos povoamentos jovens de eucalipto, também não é o mais indicado, dado que a plantação jovem de Eucalipto , constitui a principal vegetação combustível aí existente no terreno.

Em povoamentos com idade igual ou superior a 3 anos, e já foi realizada a primeira selecção de varas, poderão ser realizadas medidas de silvicultura preventiva, tendo em vista a mitigação da perigosidade dos incendios.

Em povoamentos com idade igual a quatro anos e com existência de subcoberto é a subida da altura da base da copa até 5 m de altura, que promove a descontinuidade vertical entre os combustíveis de superfície e do copado.

Neste sentido, numa oportunidade futura serão estudadas medidas de silvicultura preventiva de carácter estrutural associadas a cada povoamento com o objectivo de gerar a descontinuidade vertical e horizontal entre os diferentes níveis de combustível, subindo a altura da base da copa, através de desrama, ou da eliminação do subcoberto, através de realização de gradagem.

# CAPÍTULO V: CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o diagnóstico da variabilidade e propagação dos incêndios florestais numa determinada área, é preciso manusear uma base científica e técnica a partir da qual é possível obter uma importante ajuda na tomada de decisão de uma forma objectiva na precedência da gestão dos recursos, disponíveis para fazer investimentos na Floresta.

A realização deste trabalho permitiu ter consciência das possibilidades de utilização do sistema FlamMap como instrumento de apoio à planificação das acções de gestão e prevenção de incêndios florestais. A informação produzida permite apoiar a decisão em questões de minimização do perigo de incêndio através da quantificação dos benefícios resultantes da implementação de diferentes estratégias de gestão de combustíveis. Contudo, o programa exige dados georreferenciados , integrados num SIG, sobre os combustíveis e topografia. Requer ainda informação organizada e detalhada de variáveis biométricas para cálculo dos parâmetros do copado.

O ArcGIS foi o software de informação geográfica utilizado para a compilação e tratamento dos dados de características espaciais. A sua aplicação neste trabalho foi extremamente importante, revelando-se bastante útil no processamento dos inputs e outputs de e para o FlamMap.

O estudo realizado, permitiu identificar e avaliar a distribuição espacial e quantitativa de diferentes variáveis do comportamento do fogo. Foi possível avaliar para cada distribuição de idades o comportamento potencial do fogo, nomeadamente pelo potencial de ocorrência de fogos de copas para diferentes velocidades de vento e pela idade do povoamento. O estudo do potencial de ocorrência de fogos evidenciou que a velocidade do vento e o combustível presente no terreno são os principais determinantes da ocorrência de fogos de copas e portanto, determinantes do risco de incêndio florestal nas propriedades.

O estudo do comportamento do fogo subjacente à análise da paisagem de eucalipto com diferentes distribuição de idades, evidencia que o combustível presente no terreno e a meteorologia são os principais determinantes de comportamentos de fogos mais intensos , e indirectamente agravando o risco de incêndio.

Nas áreas “Globland” onde a supressão do fogo foi considerada ineficaz, devem ser aplicadas medidas de redução de combustível. A redução da carga de combustível nestas áreas deve de ser considerada uma prioridade, relativamente as restantes áreas, uma fez que o comportamento do fogo subjacente a este niveis, é de tal forma intenso que torna os esforços de combate perigosos, onerosos e geralmente infrutíferos. Na impossibilidade de reduzir a quantidade de combustível, tais áreas devem estar identificadas de modo a sobre elas incidir maior esforço em termos de vigilância.

Independentemente do tipo de medidas que possam ser tomadas ao nível da área de estudo, para reduzir o risco de incêndio, considera-se que o presente trabalho constitui um diagnóstico válido, passível de produzir linhas de orientação aos gestores no que diz respeito à prevenção, vigilância e combate. No seguimento deste trabalho, sugere-se como trabalho futuro, o estudo dos efeitos das variáveis biométricas no risco de incêndio florestal adequando medidas de gestão de combustíveis nas respectivas parcelas de eucalipto.

Por último, é importante referir que a floresta e todo o meio envolvente, são dos bens mais preciosos que o Homem tem ao seu dispor. Por esse motivo é necessário protegê-los, utilizando todos os meios ao seu alcance, no sentido de diminuir a ocorrência de incêndios incontroláveis que são um dos principais inimigos destes ecossistemas. O uso das ferramentas computorizadas, aliado à cooperação entre diversas entidades envolvidas na prevenção/combate aos fogos e gestão de áreas florestais e naturais,é essencial para que se consiga alcançar esse objectivo.

# CAPÍTULO VI: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agee, J. K. and Skinner, C. N. 2005. Basic principles of forest fuel reduction treatments, Forest Ecology and Management 211: 83–96

Ager A.A., Finney M.A., Kerns B.K., Maffei H., 2007. "Modeling wildfire risk to northern spotted owl (Strix occidentalis caurina) habitat in Central Oregon, USA". Forest Ecology and Management 246 (2007) 45–56.

Albini, F.A., and Baughman, R.G. 1979. Estimating windspeeds for predicting wildland fire behavior.*USDA-FS, Research Paper INT-221*.

Albini FA. Spot fire distance from isolated sources. Extensions of a predictive model. USDA Forest Service; 1981. Res Note INT-309.

Albini FA. Potential spotting distance from wind-driven surface fires. USDA Forest Service; 1983. Res Pap INT-309.

Albright, D. & Meisner, B.N. 1999. Classification of fire simulation systems, *Fire Management Notes*, 59(2), 5:12.

Almeida R, Guerreiro J, Castro M, Grilo F, Mesquita AC¸Pinheiro D, Gonc¸alves P. Um sistema de detecçãoo como aplicação da cartografia de risco de incêndio florestal. Ver Ruralidades 1997;IX(3):51–6.

Alves, A. M., Pereira, J. S., Silva, J. M. N. (2007). O eucaliptal em Portugal. Impactos ambientais e investigação científica. ISA Press.

Arca B., Bacciu V., Duce P., Pellizzaro G., Salis M., Spano D., 2007. "Use of FARSITE Simulator to Produce Fire Probability Maps in a Mediterranean Area". 7th Symposium on Fire and Forest Meteorology, Bar Harbor, Maine, USA, 23-25 October 2007.

Arca, B., Bacciub, V., Ducea, P., Pellizzaroa, G., Salisb, M., Spanob, D., 2007. Use of Farsite simulator to produce fire probability maps in a Mediterranean area. CNR-IBIMET, Institute of Biometeorology, Sassari, Italy DESA, Università di Sassari, Sassari, Italy

Arca, B., Laconib, M., A ., Maccionib, M., Pellizzaroa , Grazia, Michele Salisb. 2007. Validation of FARSITE model in Mediterranean area. CNR - IBIMET, Institute of Biometeorology, Sassari, Italy

Byram, G. M. (1959) Combustion of forest fuels. In: Davis, K. P., (ed.) Forest Fire: Control and Use. McGraw Hill, New York.

Castro, F.X., Tudela, A. and Sebastià, M.T. 2003, Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia (Spain), *Agricultural and Forest Meteorology* 116 : 49–59

Ceccato P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., Tarantola, S., 2002. Designing a spectral index to Estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1 Theoretical approach, Remote Sensing of Environment 82 :188–197

CELPA (2004). Ciclo produtivo - Caracterização da Floresta. www.celpa.pt ; última consulta 21 de Maio 2010.

Cruz, M.G., Viegas, D.X. 1998. Crown fuel dynamics in bluegum eucalyptus (*Eucalyptus globulus* Labill.) plantations fuel complex: implications on extreme fire behavior phenomena. Pages 2089-2109 in the Proceedings of *3rd International Conference on Forest Fire Research – 14th Conference on Fire and Forest Meteorology*, Luso - Coimbra, Portugal - 16/20 November 1998.

Cruz , M. G., 2007. Guia Fotográfico para identificação de combustíveis florestais - Região Centro ., Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais , ADAI versao 2, Junho .

Cumming, S.G. 2001. Forest type and wildfire in the Alberta boreal mixedwood: what do fires burn? Ecological Applications 11: 97-110

DGF 2006, Resultados do Inventário Florestal Nacional 2005/2006, 5ª Revisão , Direcção- Geral dos Recursos Florestais,Lisboa, 70 pp.

DGRF, (2001). Inventário Florestal Nacional: Portugal Continental, 3ª Revisão. Direcção Geral das Florestas, Lisboa Portugal. 233 pp.

DGRF, (2006). Estrategia Nacional para as Florestas – Versão Preliminar Para Discussão Pública – 21 de Março de 2006. Lisboa: Direcção-Geral dos Recursos Florestais.

DGRF, (2006). Incêndios Florestais 2006. Relatório provisório (01 Janeiro a 30 de Junho).

Fernandes, P.; Botelho, H.; Rego, F.; Loureiro, C. (2009) Empirical modelling of surface fire behaviour in maritime pine stands. International Journal of Wildland Fire, 18, 698–71

Fernandes, P., Gonçalves , H., Loureiro, C., Fernandes, M., Costa, T., Cruz, M.G., Botelho, H., 2009. Modelos de Combustível Florestal para Portugal.procedign congresso florestal nacional , Açores

Finney, M. A. (1998, Revised 2004) FARSITE: fire area simulator - model development and evaluation. U.S. Forest Service General Technical Report RMRS-RP-4Rev. Ogden, UT. (1,626 KB; 52 pages)

Finney (2001). Design of Regular Landscape Fuel Treatment Patterns for Modifying Fire Growth and Behavior. Forest Science 47 (2) 2001. P 219-228.

Finney, M. (2003) Calculation of fire spread rates across random landscapes. International Journal of Wildland Fire 12: 167-174.

Finney M.A., 2005. “The challenge of quantitative risk assessment for wildland fire”. Forest Ecology and Management 211:97-108.

Finney, M.A. 2006 .An Overview of FlamMap Fire Modeling Capabilities USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-41.

Finney M.A., 2007. “FARSITE User's Guide and Technical Documentation”. FARSITE, version 4.1.054, March 20.

Finney, (2003). Finney M.A., Britten S., Seli R., 2003. “FlamMap2 Beta Version 3.0.0”. Fire Sciences Lab and Systems for Environmental Management, Missoula, Montana.

Finney M.A., Britten S., Seli R., 2003. “FlamMap2 Beta Version 3.0.1”. Fire Sciences Lab and Systems for Environmental Management, Missoula, Montana.

Finney, M., S. Brittain e R. Seli. (2004). FlamMap Version 3.0. Disponível em http://fire.org. Acesso em Maio de 2010.

Fosberg, M. A. & Deeming, J. (1971) Derivation of the 1- and 10-hour timelag fuel moisture calculations of fire danger. USDA Forest Service Res. Note RM-207, 8pp.

Graham, R.T. Harvey, A., Jain, T., Tonn, J.R., 1999. The effects of thinning and similar stand treatments on fire behavior in western forests. USDA Forest Service General Technical Report PNW-GTR-463.

Lopes, A. P. (2002). Cartografia da combustibilidade e simulação espacial do comportamento do fogo na Tapada Nacional de Mafra. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Florestal. UTAD, Vila Real.

Lopes A.M.G. Cruz, M.G., Viega D.X. 2002. *FireStation* — an integrated software system for the numerical simulation of fire spread on complex topography a Environmental *Modelling & Software* 17: 269–285.

Lopes, M., & Águas, C., 2000. SPREAD – um programa de autómatos celulares para a propagaçao de fogos florestais. *Silva Lusitana* 8 (1): 33-47.

Marques, S., Borges, J. G., Garcia-Gonzalo, J. , Moreira, F. , Carreiras, J.M.B.,Oliveira, M.M., Cantarinha, A. , Botequim, B. and Pereira, J. M. C. Characterization of wildfires in Portugal. submitted, a)

Martínez Millan J, Vignote S, Martos J, Caballero 1991. D. Cardin,un sistema para la simulación de la propagación de incedios forestales. Mapa, Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales.O:121–33.

Nelson, M.R.JR., 1984. Method for describing equilibrium moisture content of forest fuels, Can. J. For. Res. 14(4) :597-600

Noonan, 2007; Ager A.A., Finney M., 2009. “Application of wildfire simulation models for risk analysis”. Geophysical Research Abstracts, Vol. 11, EGU2009-5489, EGU General Assembly, Vienna, April 2009. N

Pastor, E., Zarate, L., Planas. E., Arnaldos J. 2003. Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior. *Progress in Energy and Combustion Science* 29 :139–15.

Pereira, M. G., R. M. Trigo, C. C. Camara, J. M. C. Pereira e S. M. Leite (2005). Synoptic patterns associated with large summer forest fires in Portugal. Agricultural and forest Meteorology 129: 11-25.

Pereira, J. M. C., Santos, M. T. N. (2003). Fire Risk and burned area mapping in Portugal. Direcção-Geral das Florestas. Lisboa.

Perry G.L.W., 1998. “Current Approaches to Modelling the Spread of Wildland Fire: aReview”. Progress in Physical Geography 22, 222-245.

Richarrds G.D., 1990. An elliptical growth model of forest fire fronts and its numerical solution. Internacional Journal of Numerical Methods in Engineering 30, 1163-1179.

Rodriguez e Silva et al. (2010). Manual técnico de aplicaciones informaticas para la defensa contra incendios forestales. Manpai XXI.

Rothermel, R.C. 1972. A Mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. *USDA Forest Service Research Paper, INT-115*, Ogden UT.

Rothermel, R.C., Wilson, R.A., Morris, G.A., Sackett, S.S. 1986. Modeling moisture content of fine dead fuels: input to the BEHAVE fire prediction system. *USDA Forest Service Research Paper INT-359*, Ogden, UT.

Rothermel R.C., 1991. “Predicting the Behaviour and Size of Crown Fires in the Northern Rocky Mountains”. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experimental Station (Ogden, Utah). Research Paper INT-438.

Rothermel, (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires. General Technical Report INT-115. USDA Forest service, Intermountain forest and Range Experiment Station, Ogden. 161pp.

Ruiz A.D., (2005). La predicción de la humedad en los restos forestales combustibles; aplicación a masas arboladas en Galicia. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid.

Ruiz A.D., (2006). Apuntes de la asignatura “Defensa  do Monte” Univ. Politécnica de Lugo. Galiza.

Salis, Michele (2007) Fire behaviour simulation in Mediterranean maquis using FARSITE (fire area simulator). Doctoral Thesis. Università di Sassari.

Salis, M. Behavior Simulation in Mediterreanean Maquis using FARSITE (Fire area simulator). Dissertação para obtenção do grau de doutor em Agrometeorologia e Ecosifiologia.

Dipartamento di Economia e sistema arborei, Facolta ‘Di Agraria, Universita’ Degli Studi di Sassa.

Scott, J. H.; Reinhardt, E. D. (2001) Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 59 pp.

Stratton R.D., Long D., Mislivets M., 2003. “Greenville Bench case study analysis”. http://jfsp.nifc.gov/documents/Greenville_Case_Study.pdf.

Stratton R.D., 2004. “Assessing the effectiveness of landscape fuel treatments on fire growth and behavior”. Journal of Forestry 102:32- 4

USDA Forest Service. 1999. Information systems for wildland fire management. Fire Management Notes 59(2): 36 pp.

Van Wagner C.E., 1977. “Conditions for the Start and Spread of Crownfire”. Canadian Journal of Forest Research 7:23-24.

Van Wanger, C. & Pickett, T. (1985) Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry technical report -- 33. Ottawa.

Van Wagner C.E., (1987). Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forestry Service. Petawawa National Forestry Institute. Forestry Technical Report 35. 37 pp.

Van Wagner C.E., 1989. “Prediction of Crown Fire Behaviour in Conifer Stands”. Proceedings at the 10th Conference on Fire and Forest Meteorology, Ottawa, Canada. pp. 207- 213.

Van Wagner C.E., 1993. “Prediction of Crown Fire Behaviour in two Stands of Jack Pine”. Canadian Journal of Forest Research 23:442-449.

Vega JA, Cuinas P, Fontrubel T, Perez-Gorostiaga P, Fernandez C. Predicting fire behaviour in Galicia (NW Spain) shrubland fuel complexes. In: Viegas DX, editor. Proceedings of the Third International Conference on Forest Fire Research. Luso, Portugal: University of Coimbra; 1998. p. 713–28.

Velez. R., 1990. Mediterranean forest fires: A regional perspective, Unasylva 162 10–12.

Velez, R. (2000). La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias. McGrawHill. Madrid.

Viegas, D.X., Bovio, G., Ferreira, A., Nosenzo, A & Sol, B. 1999. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. International Journal of Wildland Fire, 9 (4), 235-246.

Viegas, D. X.; Piñol, J.; Viegas, M. T.; Ogaya, R. (2001) Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. International Journal of Wildland Fire, 10, 223–240.

Viegas, D. X., Reis, R. M., Cruz, M. G. & Viegas, M. T. (2004). Calibração do sistema canadiano de perigo de incêndio para aplicação em Portugal. *Silva Lusitana*, 12 (1), 77-93.

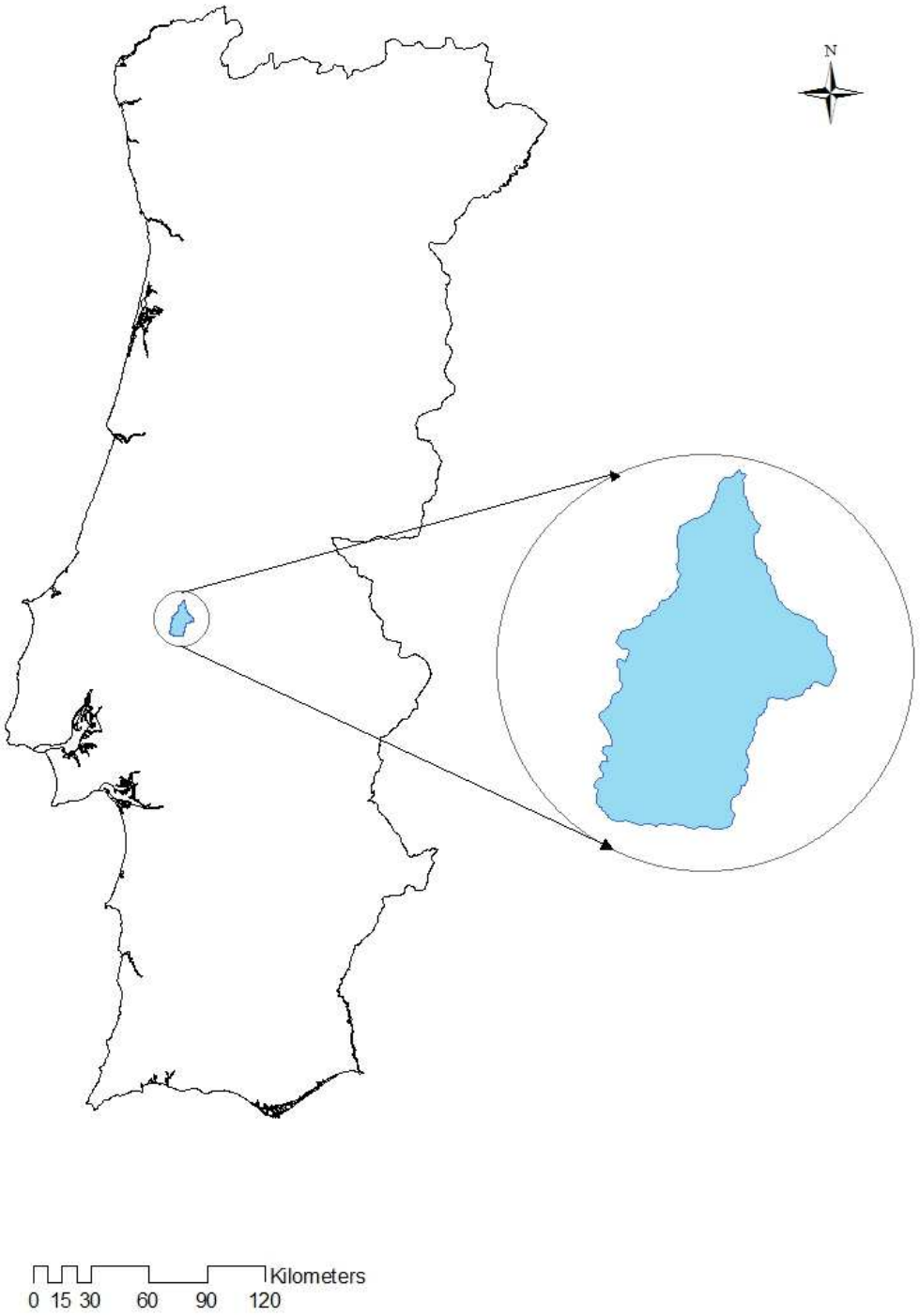
Viegas, et al., (2004). Calibração do Sistema Canadiano de Perigo de Incêndio para Aplicação em Portugal. Silva Lusitana 12(1): 77-93.

Viegas, et al., (2004). Calibração do Sistema Canadiano de Perigo de Incêndio para Aplicação em Portugal. Silva Lusitana 12(1): 77-93.

Viegas, (2004). Slope and wind effects on fire propagation. International Journal of Wildland fire 13, 143-156.

# ANEXOS

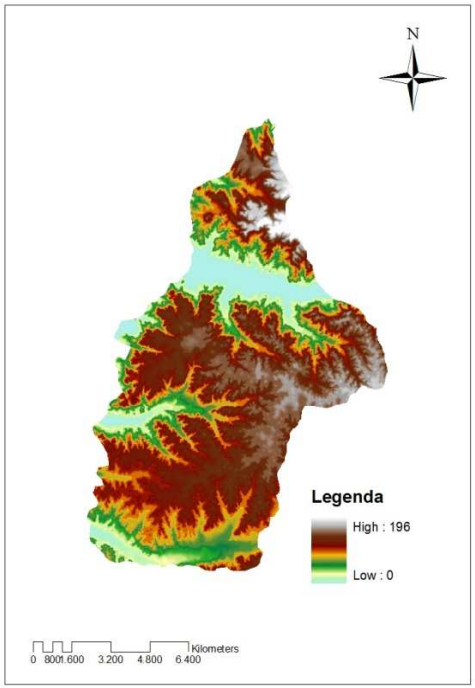
## Anexo 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

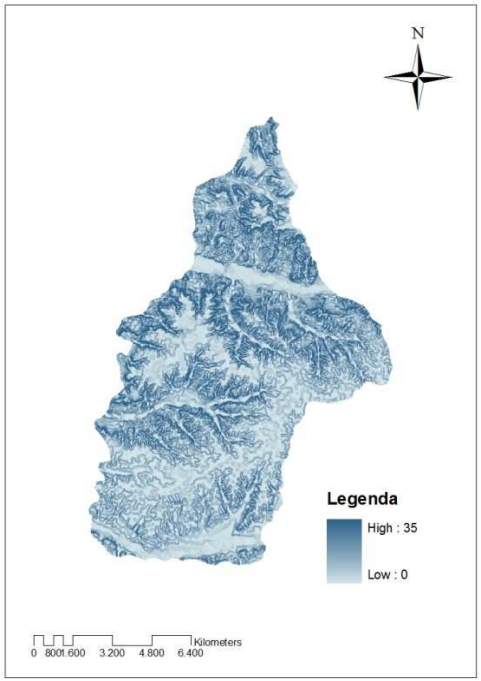


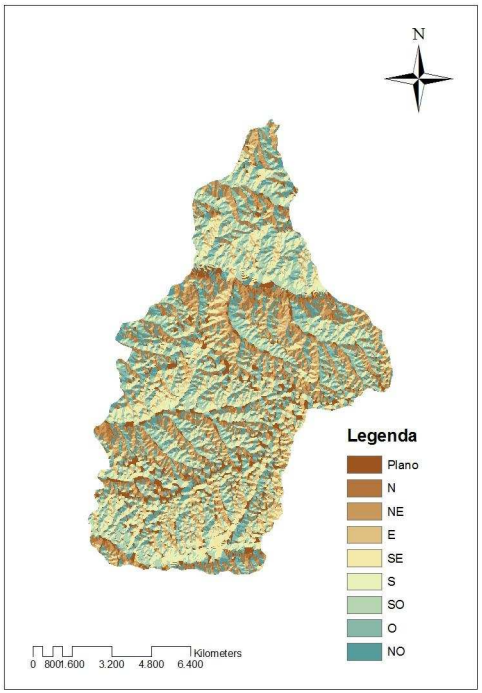
## Anexo 2. MAPAS DE INPUTS TOPOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

**INPUTS SIMULADORES**

| Relevo | Declive | Orientação |
|---|---|---|

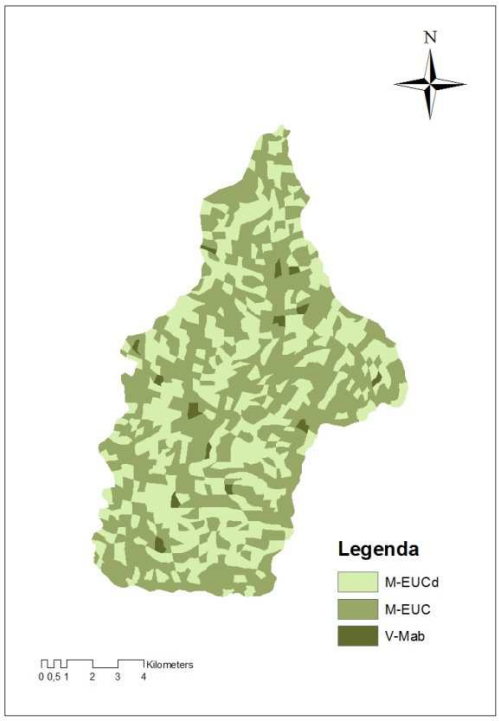


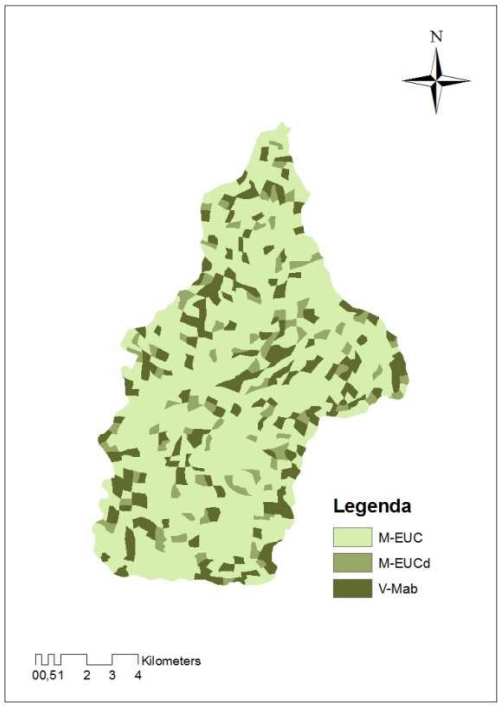



# Anexo 3. MAPAS DOS MODELOS DE COMBUSTÍVEL NA ÁREA DE ESTUDO

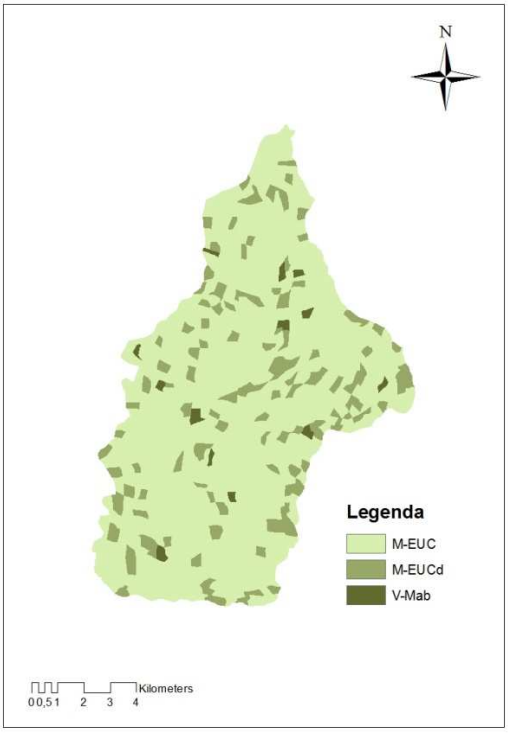
MODELOS DE COMBUSTÍVEL (PAULO FERNÁNDES)



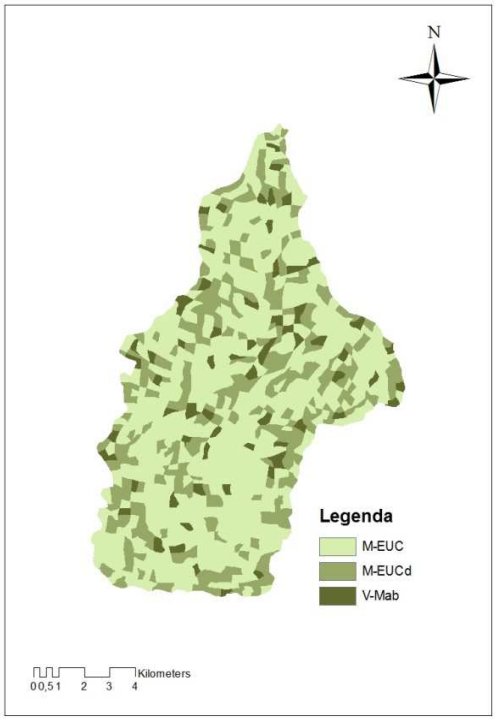

Cenário Decrescente




Cenário Crescente

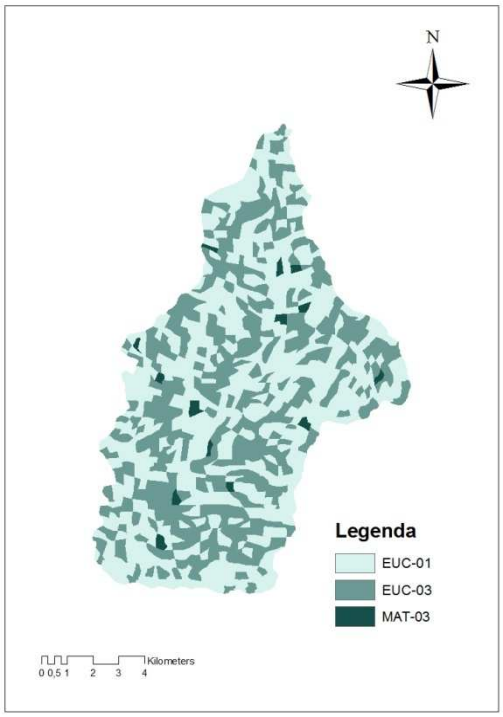



Cenário Normal

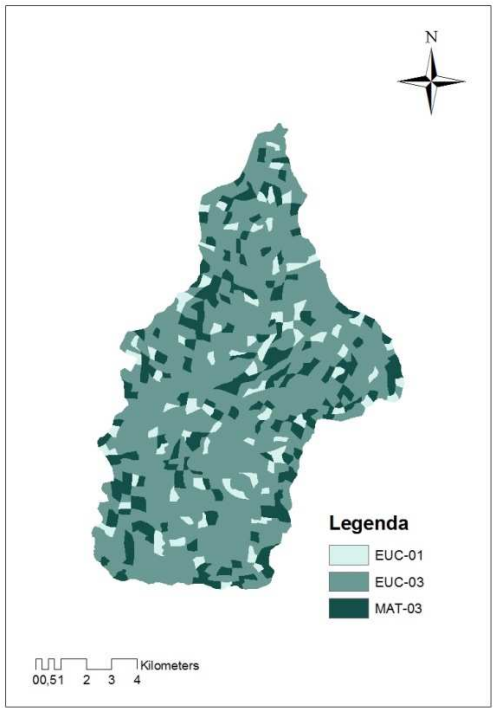



Cenário Constante

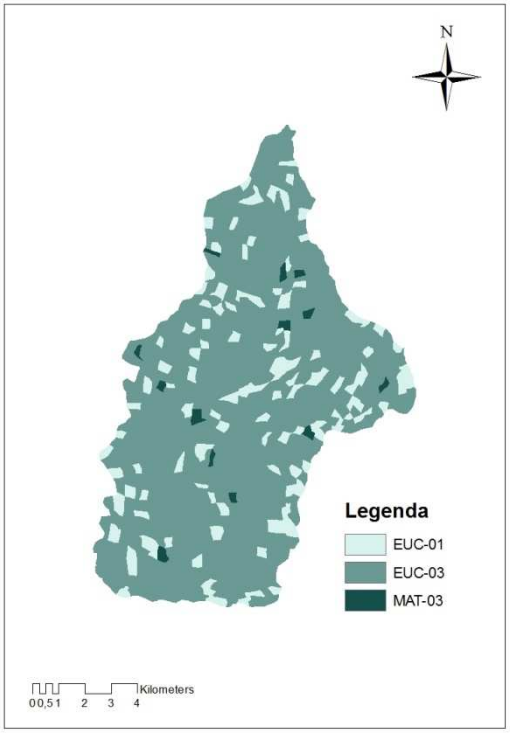
MODELO DE COMBUSTÍVEL (Cruz)



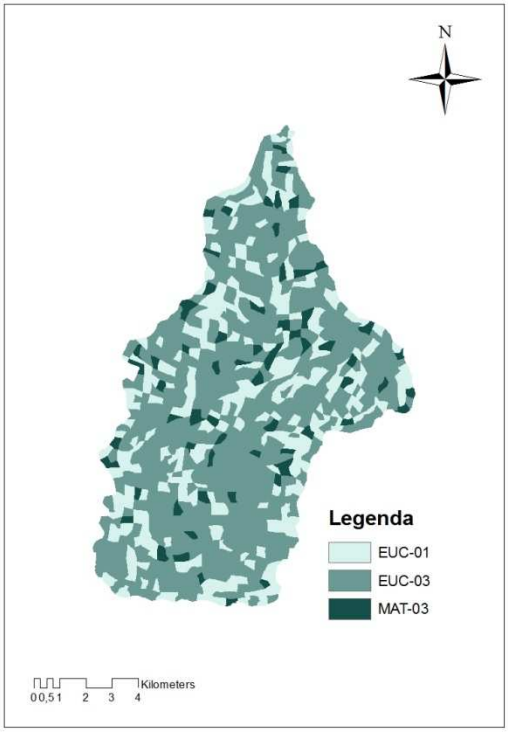

Cenário Decrescente




Cenário Crescente

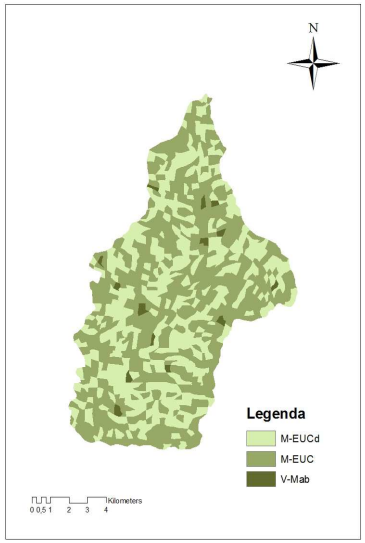
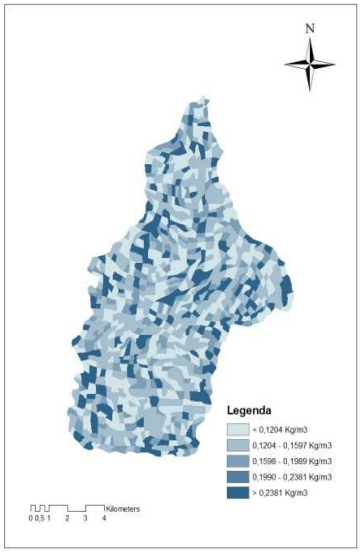
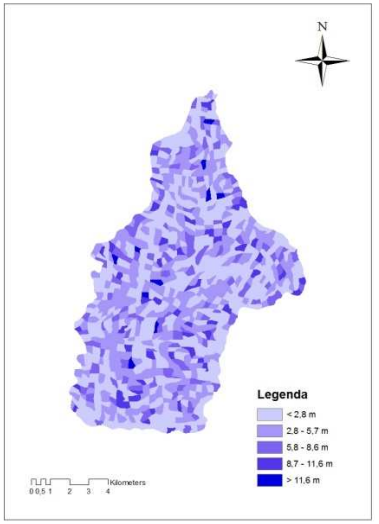
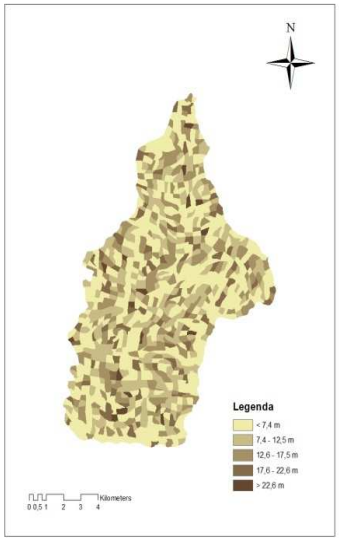



Cenário Normal

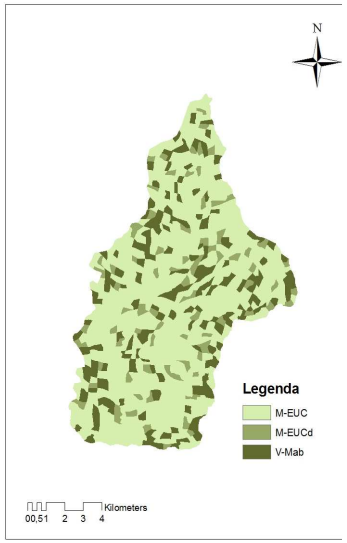
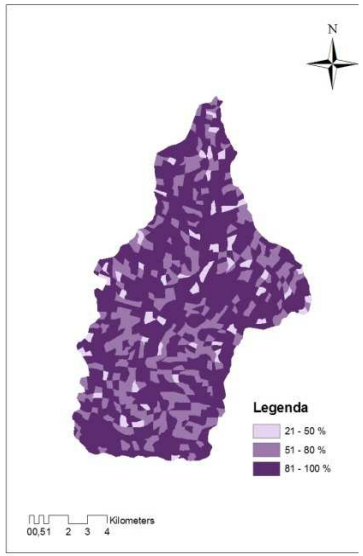
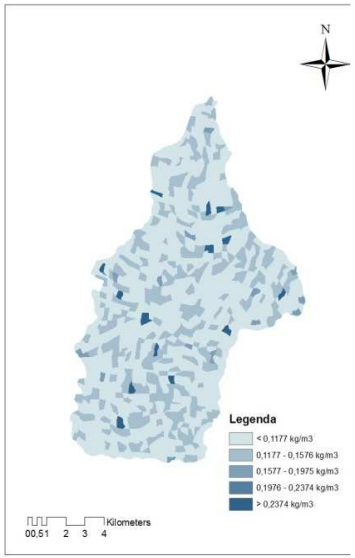
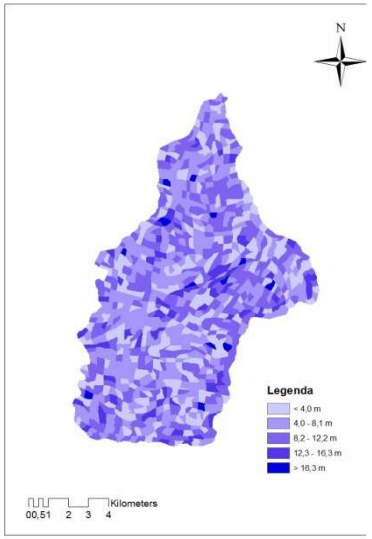
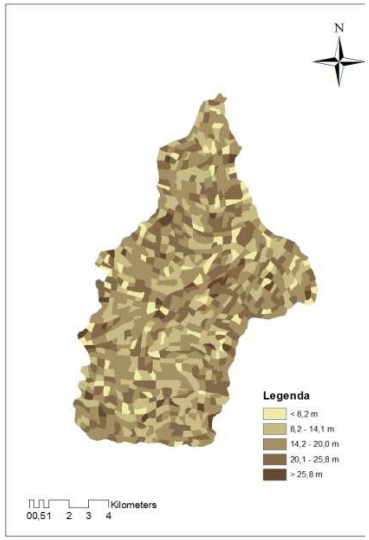



Cenário Constante

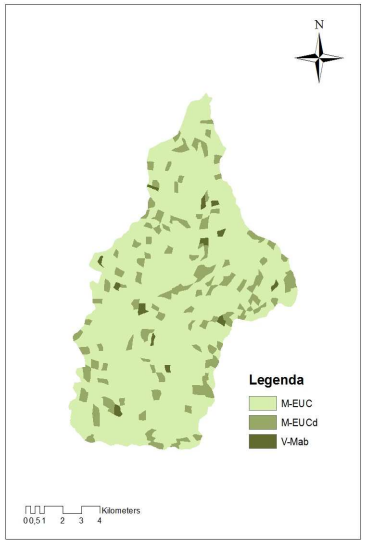
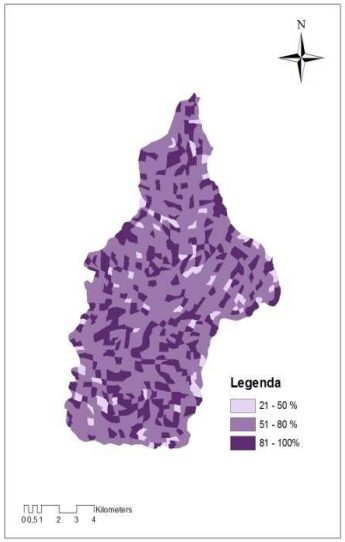
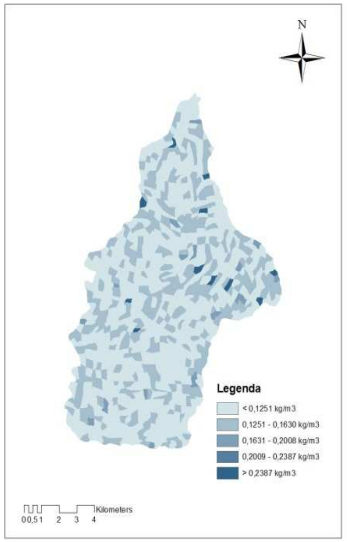
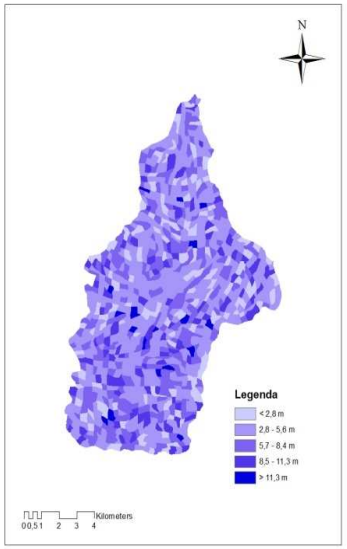
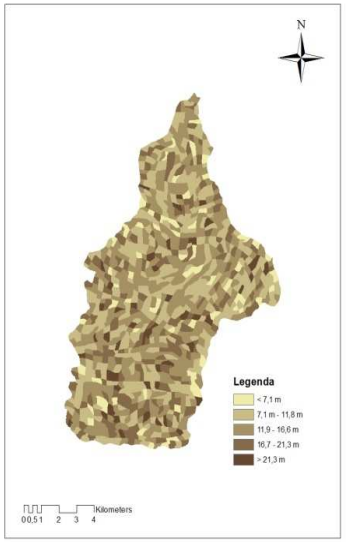
## Anexo 4. MAPAS DE INPUTS DE VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE

| INPUTS DISTRIBUÇÃO DECRESCENTE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| FOGO DE SUPERFÍCIE | | FOGO DE COPAS | | |
| MODELO DE COMBUSTÍVEL | PERCENTAGEM DE COBERTO ARBÓREO | DENSIDADE APARENTE DA COPA | ALTURA DA BASE DA COPA | ALTURA DOMINANTE DO POVOAMENTO |
|  | |  |  |  |

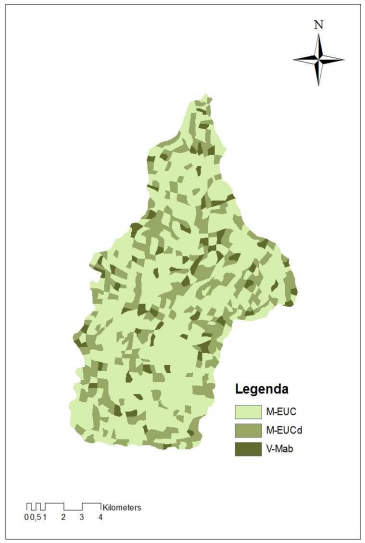
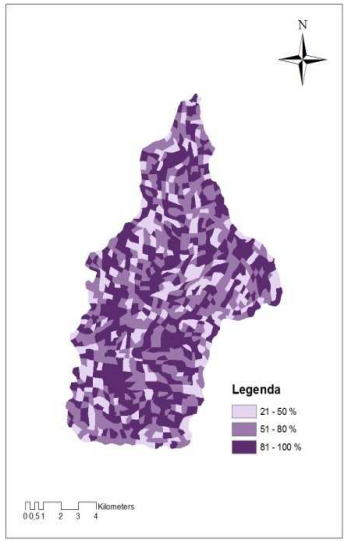
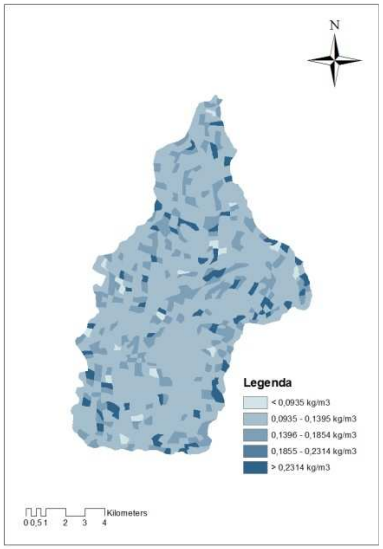
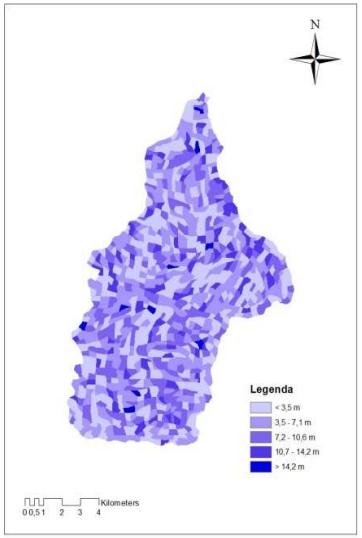
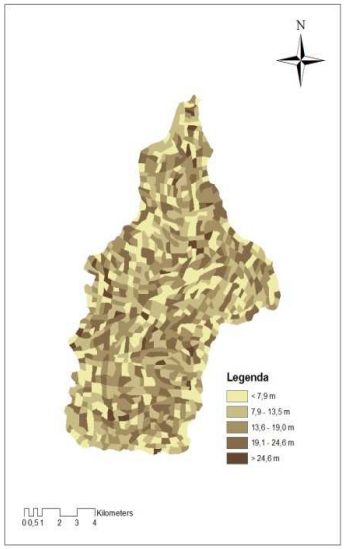
# Anexo 5. MAPAS DE INPUTS DE VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE

| INPUTS DISTRIBUÇÃO CRESCENTE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| FOGO DE SUPERFÍCIE | | | FOGO DE COPAS | |
| MODELO DE COMBUSTÍVEL | PERCENTAGEM DE COBERTO ARBÓREO | DENSIDADE APARENTE DA COPA | ALTURA DA BASE DA COPA | ALTURA DOMINANTE DO POVOAMENTO |
|  |  |  |  |  |

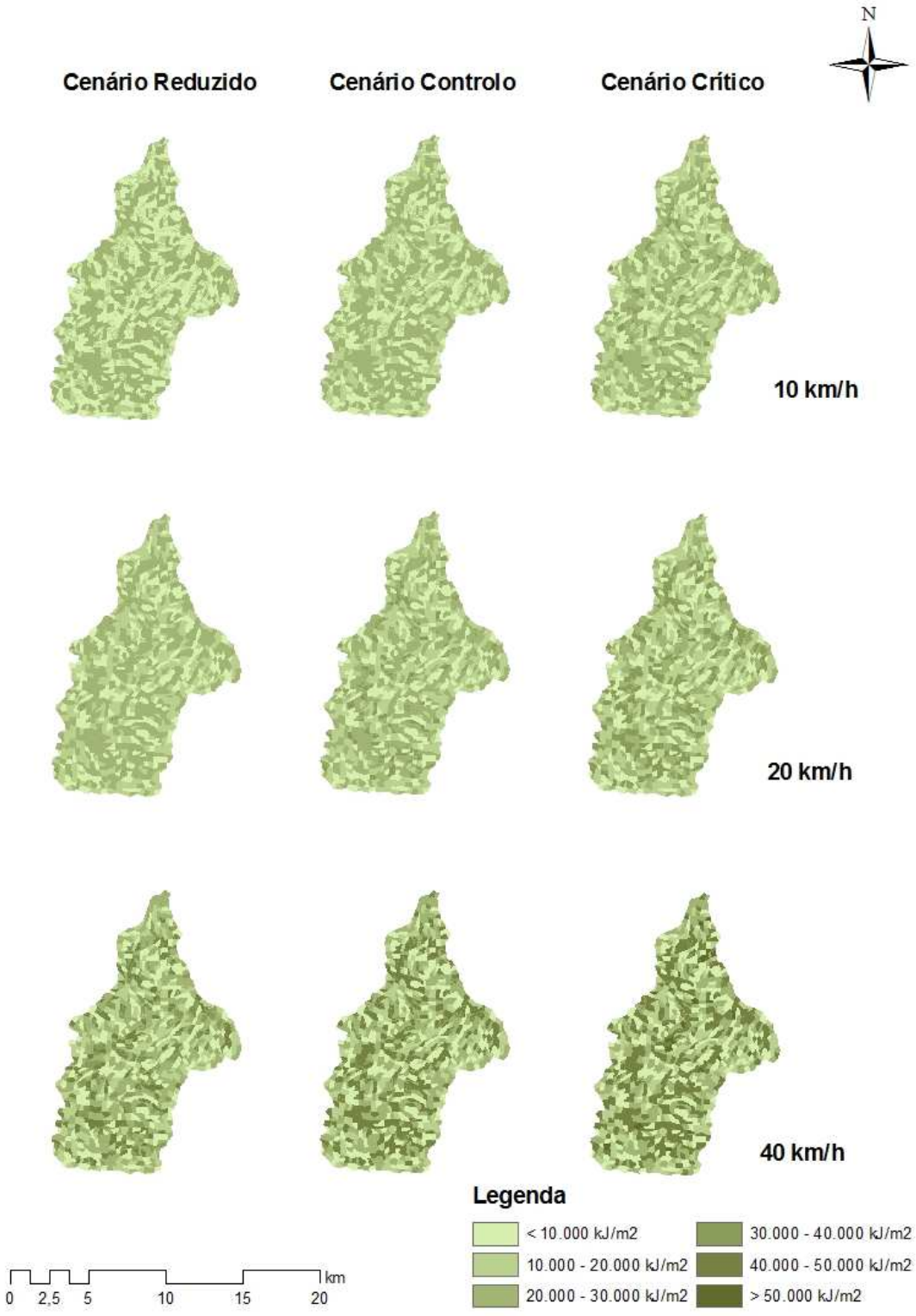
## Anexo 6. MAPAS DE INPUTS DE VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO NORMAL

| INPUTS DISTRIBUÇÃO NORMAL | | | | |
|---|---|---|---|---|
| FOGO DE SUPERFÍCIE | | FOGO DE COPAS | | |
| MODELO DE COMBUSTÍVEL | PERCENTAGEM DE COBERTO ARBÓREO | DENSIDADE APARENTE DA COPA | ALTURA DA BASE DA COPA | ALTURA DOMINANTE DO POVOAMENTO |
|  |  |  |  |  |

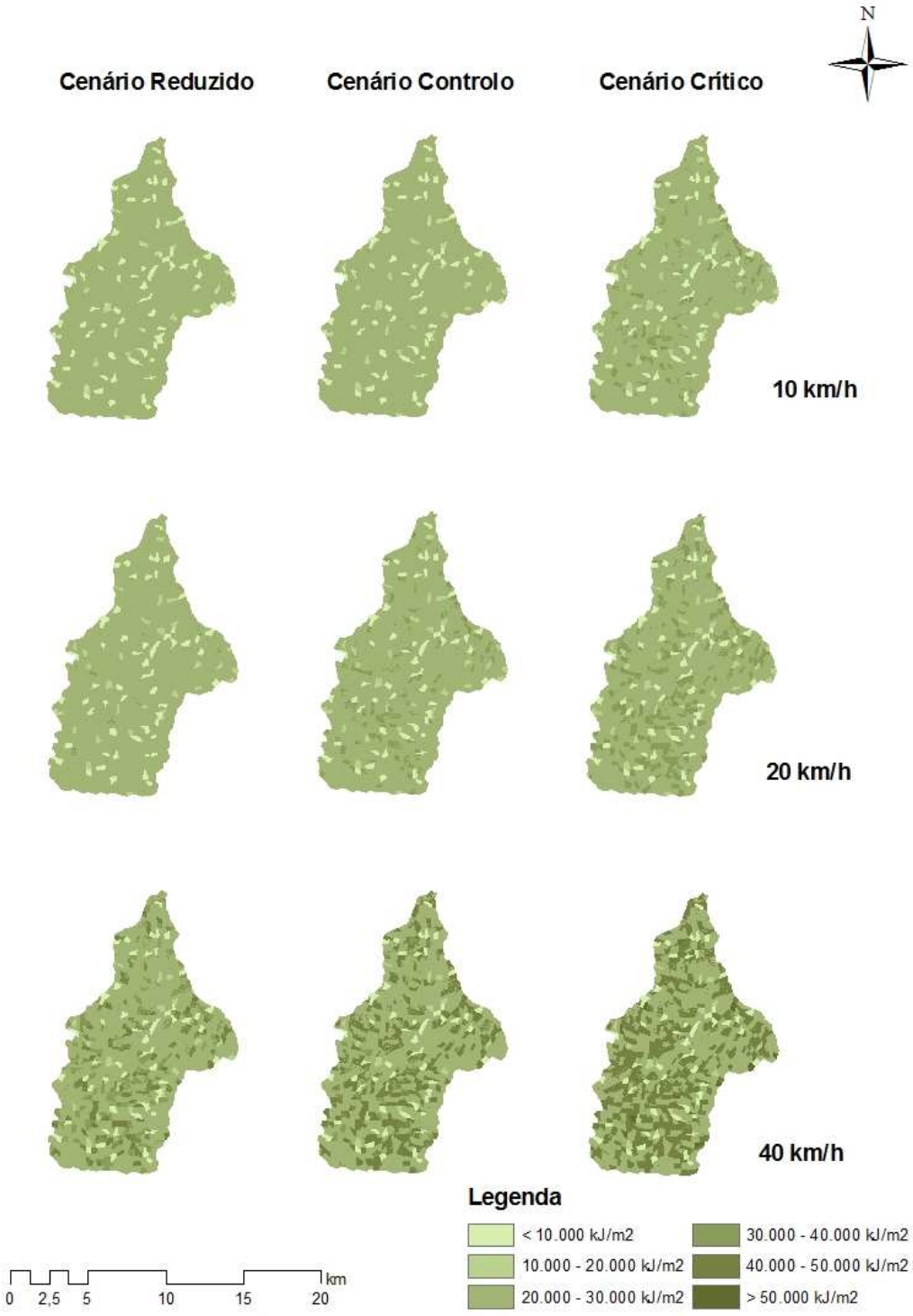
## Anexo 7. MAPAS DE INPUTS DE VEGETAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE

| INPUTS DISTRIBUÇÃO CONSTANTE | | | | |
|---|---|---|---|---|
| FOGO DE SUPERFÍCIE | | FOGO DE COPAS | | |
| MODELO DE COMBUSTÍVEL | PERCENTAGEM DE COBERTO ARBÓREO | DENSIDADE APARENTE DA COPA | ALTURA DA BASE DA COPA | ALTURA DOMINANTE DO POVOAMENTO |
|  |  |  |  |  |

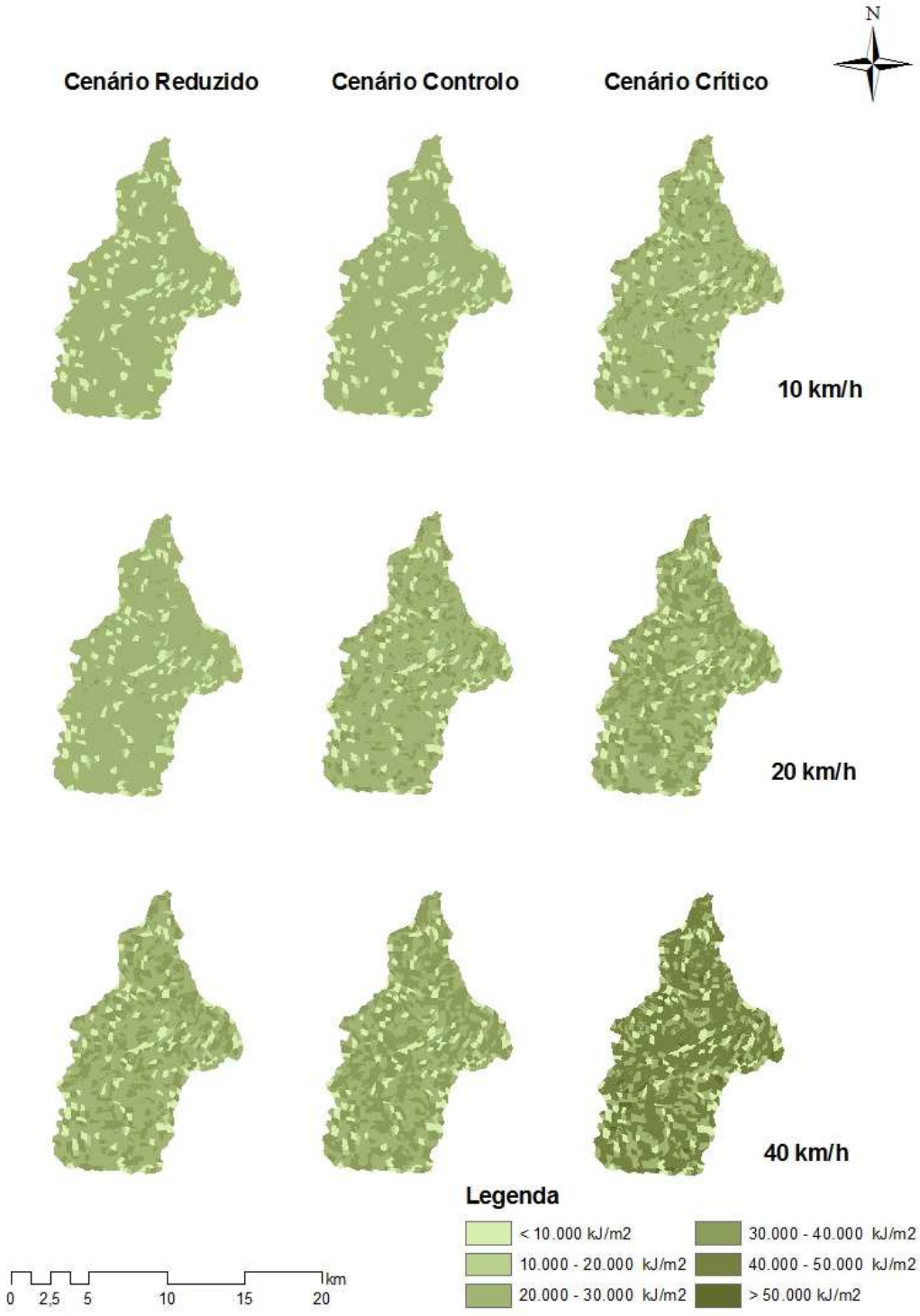
## Anexo 8. MAPAS DE CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (kJ/m²) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE



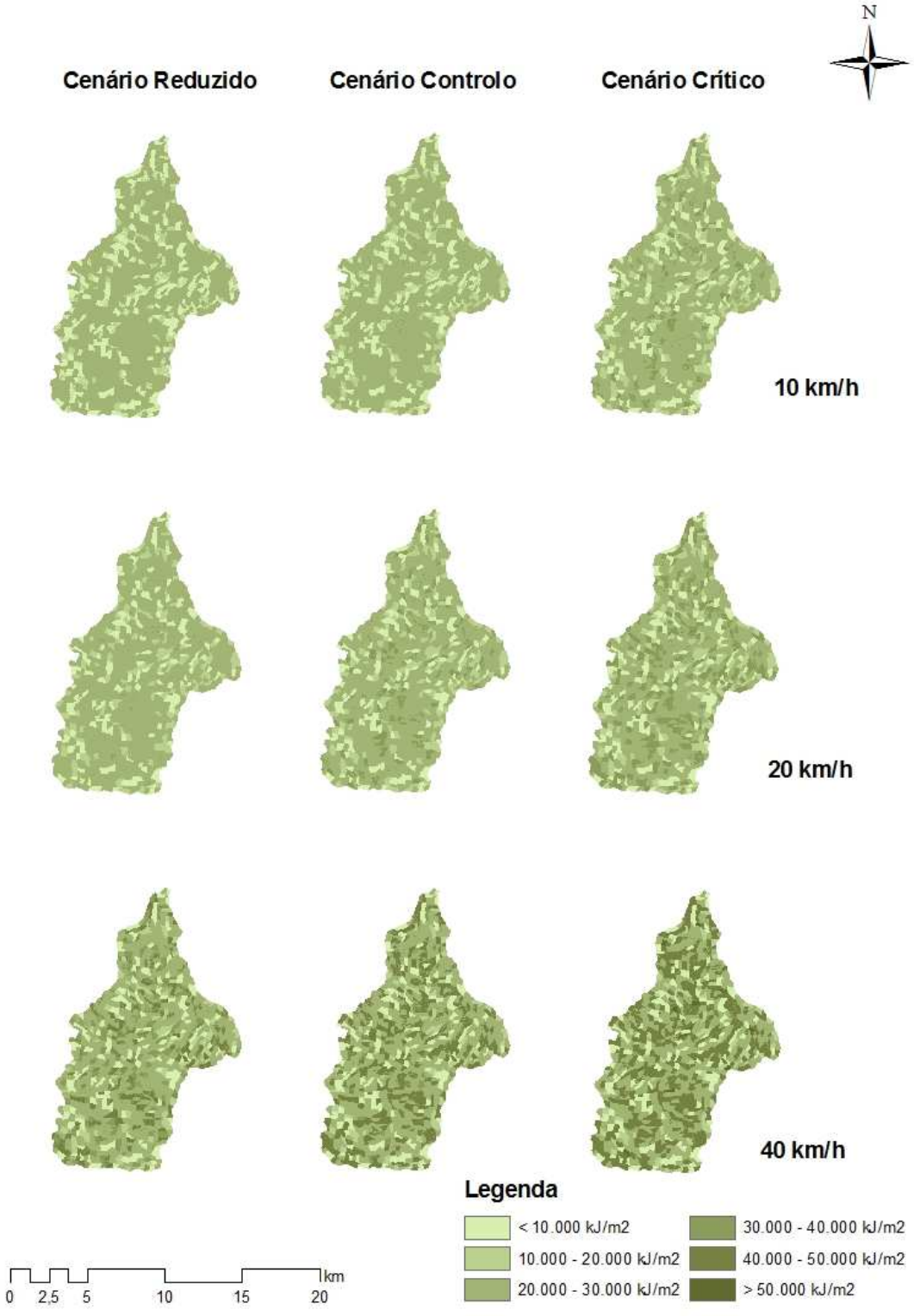
## Anexo 9. MAPAS DE CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (kJ/m²) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE



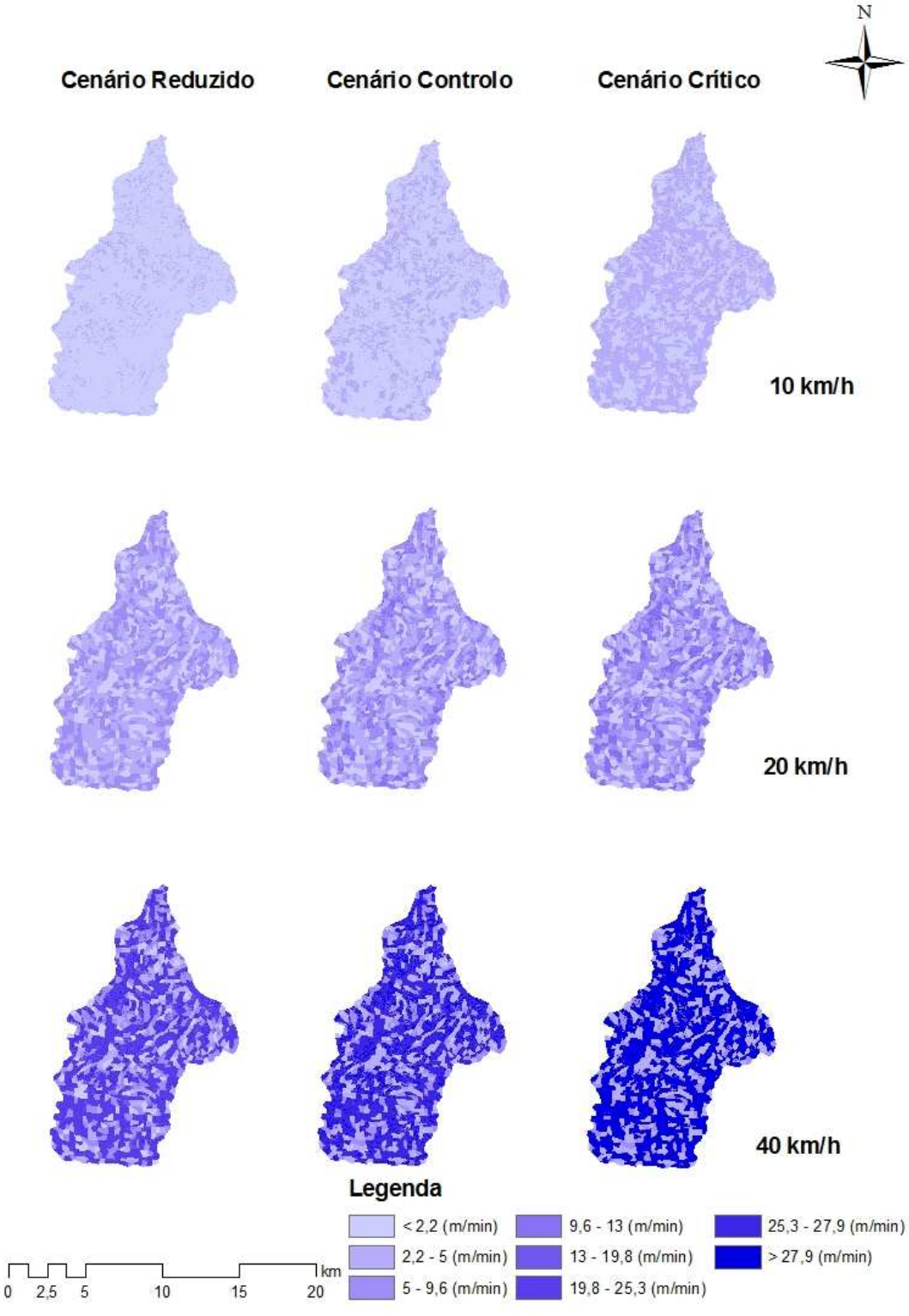
## Anexo 10. MAPAS DE CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (kJ/m²) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL



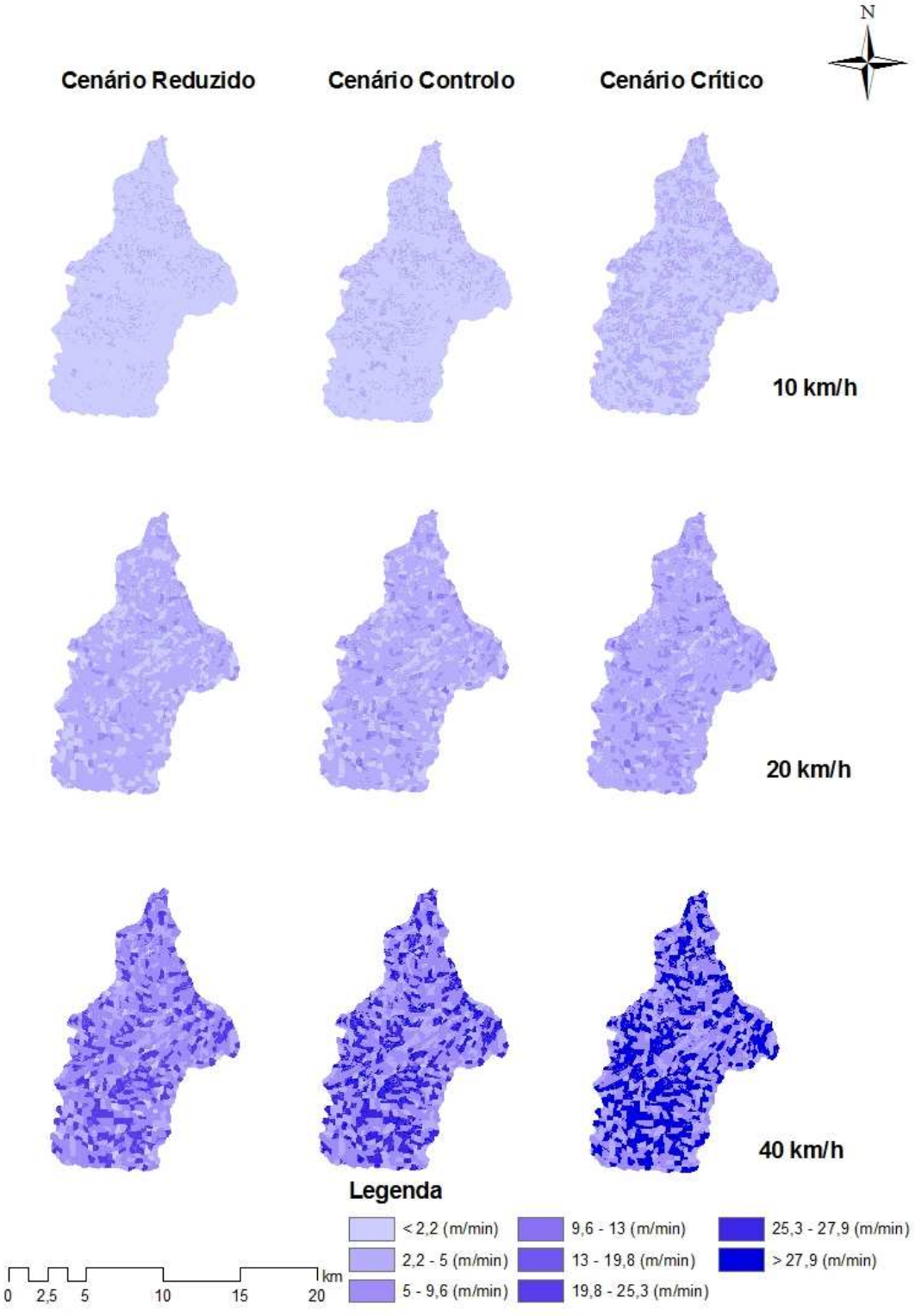
## Anexo 11. MAPAS DE CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (kJ/m²) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE



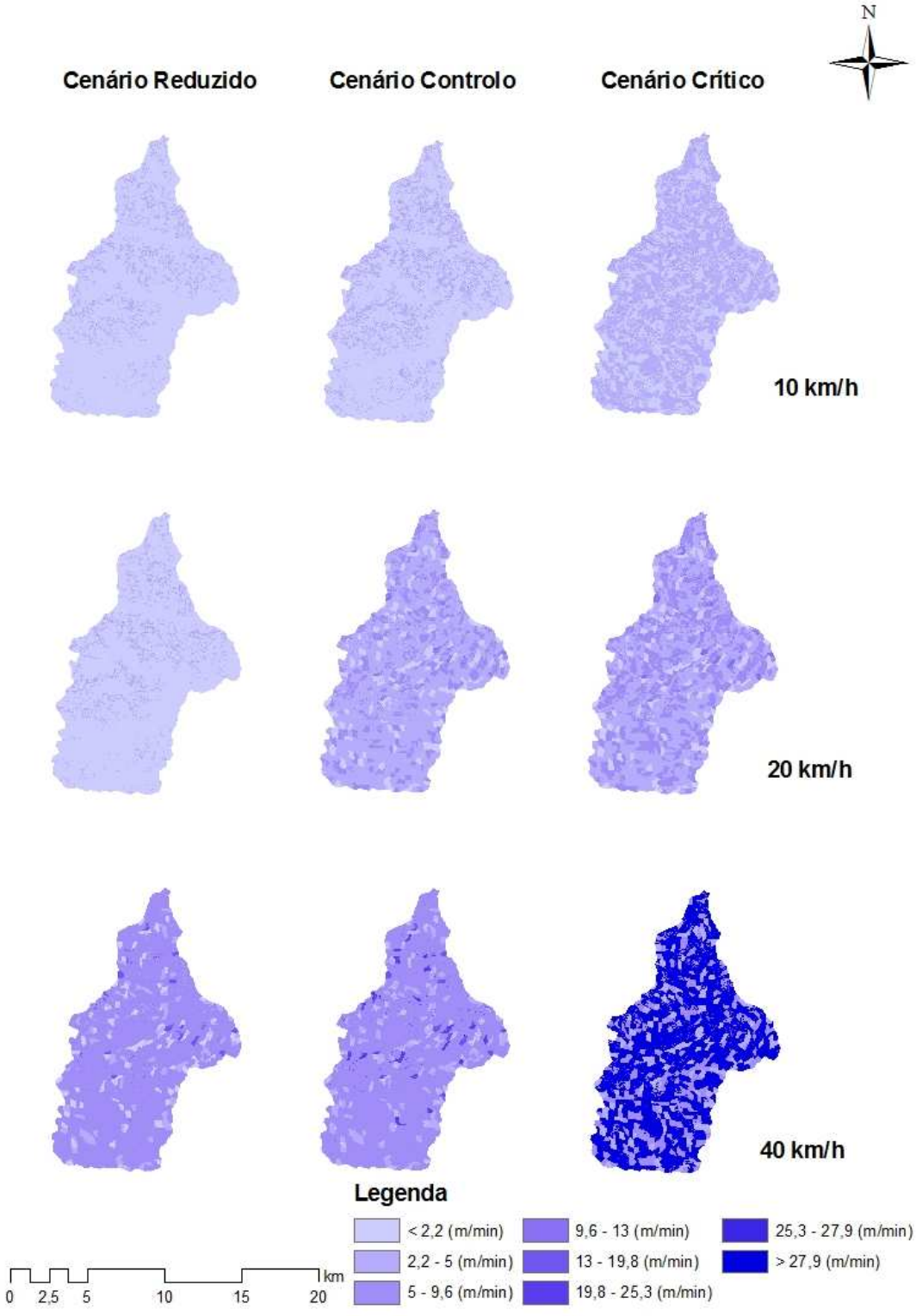
## Anexo 12. MAPAS DE TAXA DE PROPAGAÇÃO (m/min) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE



## Anexo 13. MAPAS DE TAXA DE PROPAGAÇÃO (m/min) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE

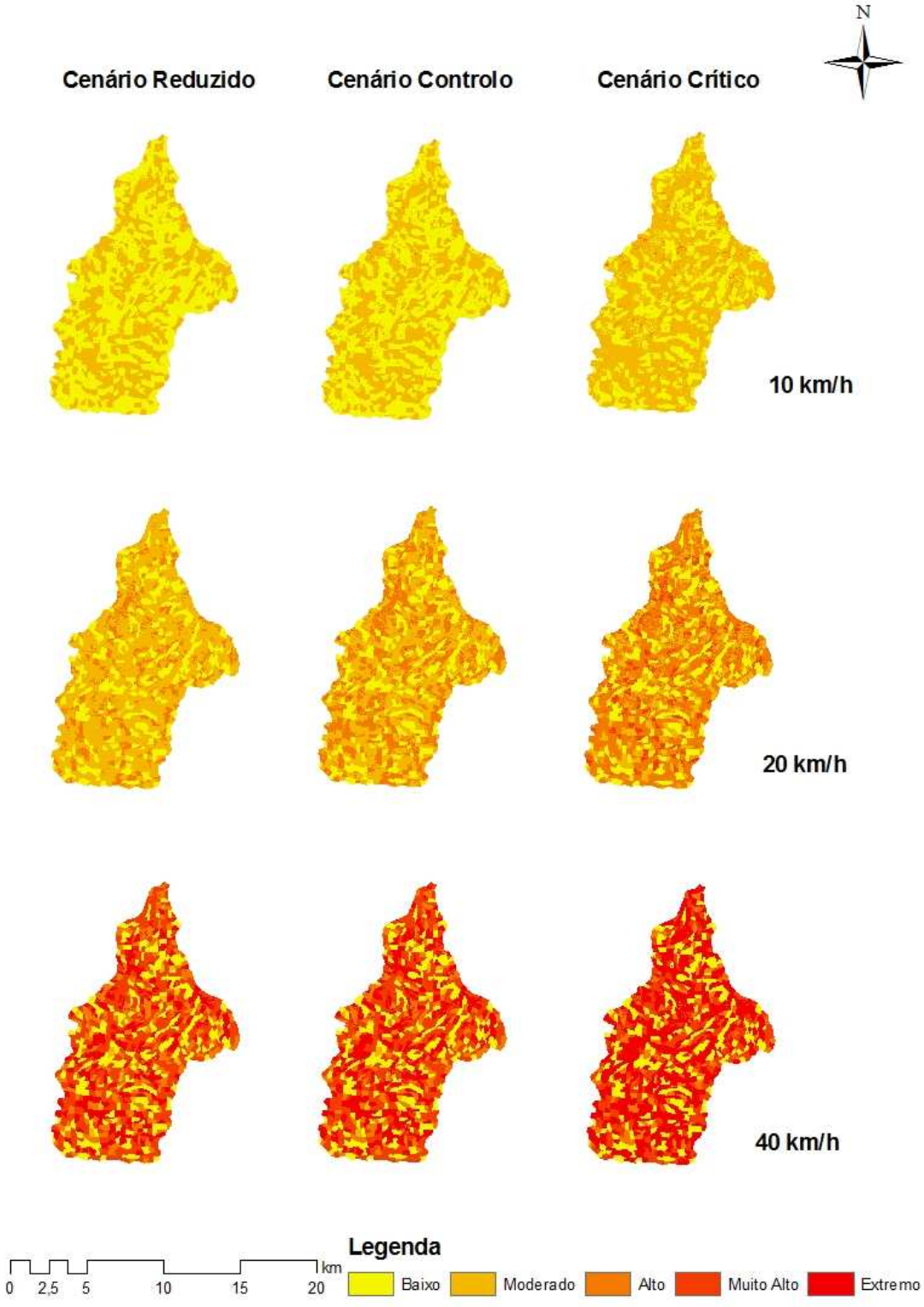


# Anexo 14. MAPAS DE TAXA DE PROPAGAÇÃO (m/min) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL

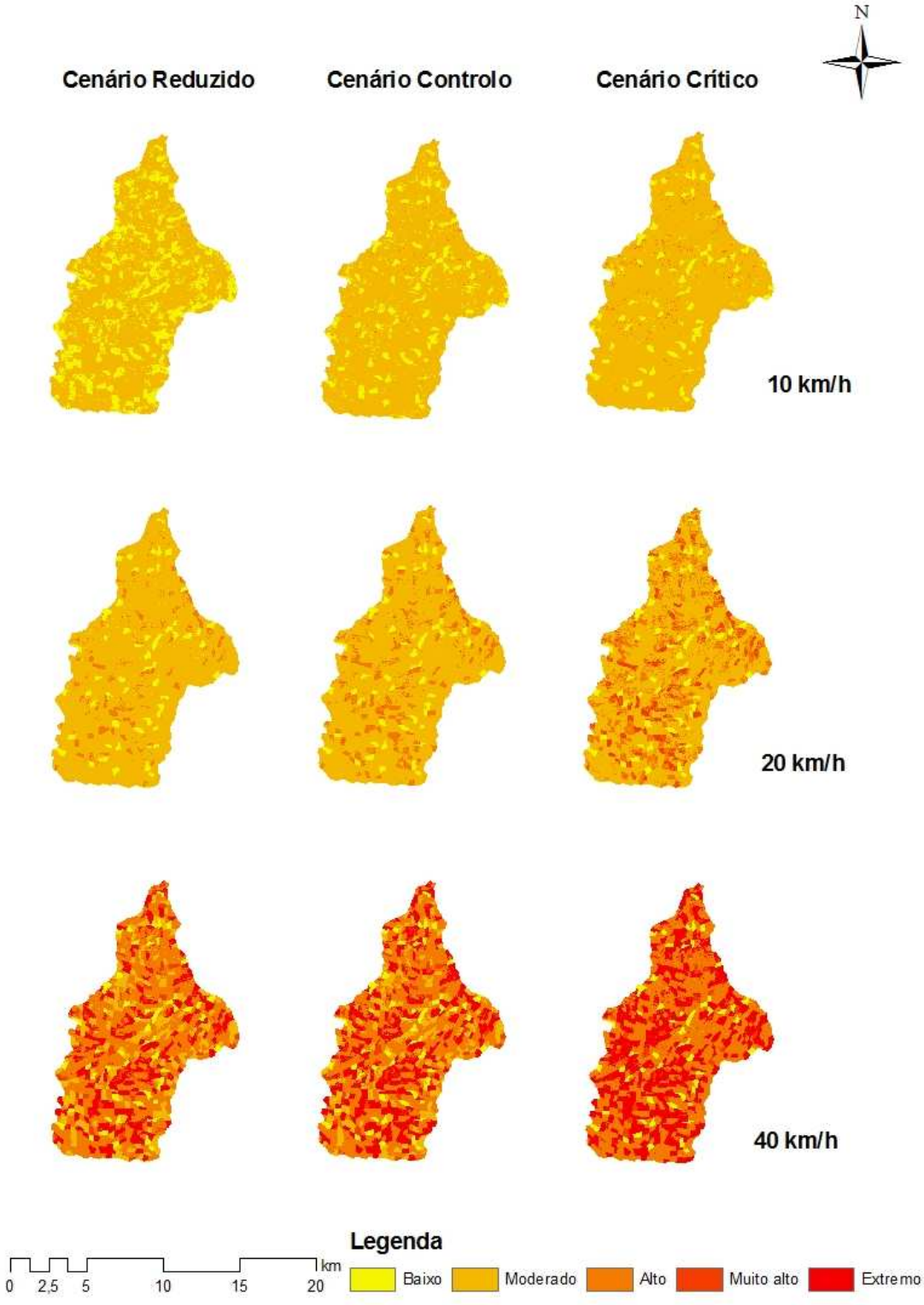


## Anexo 15. MAPAS DE TAXA DE PROPAGAÇÃO (m/min) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE

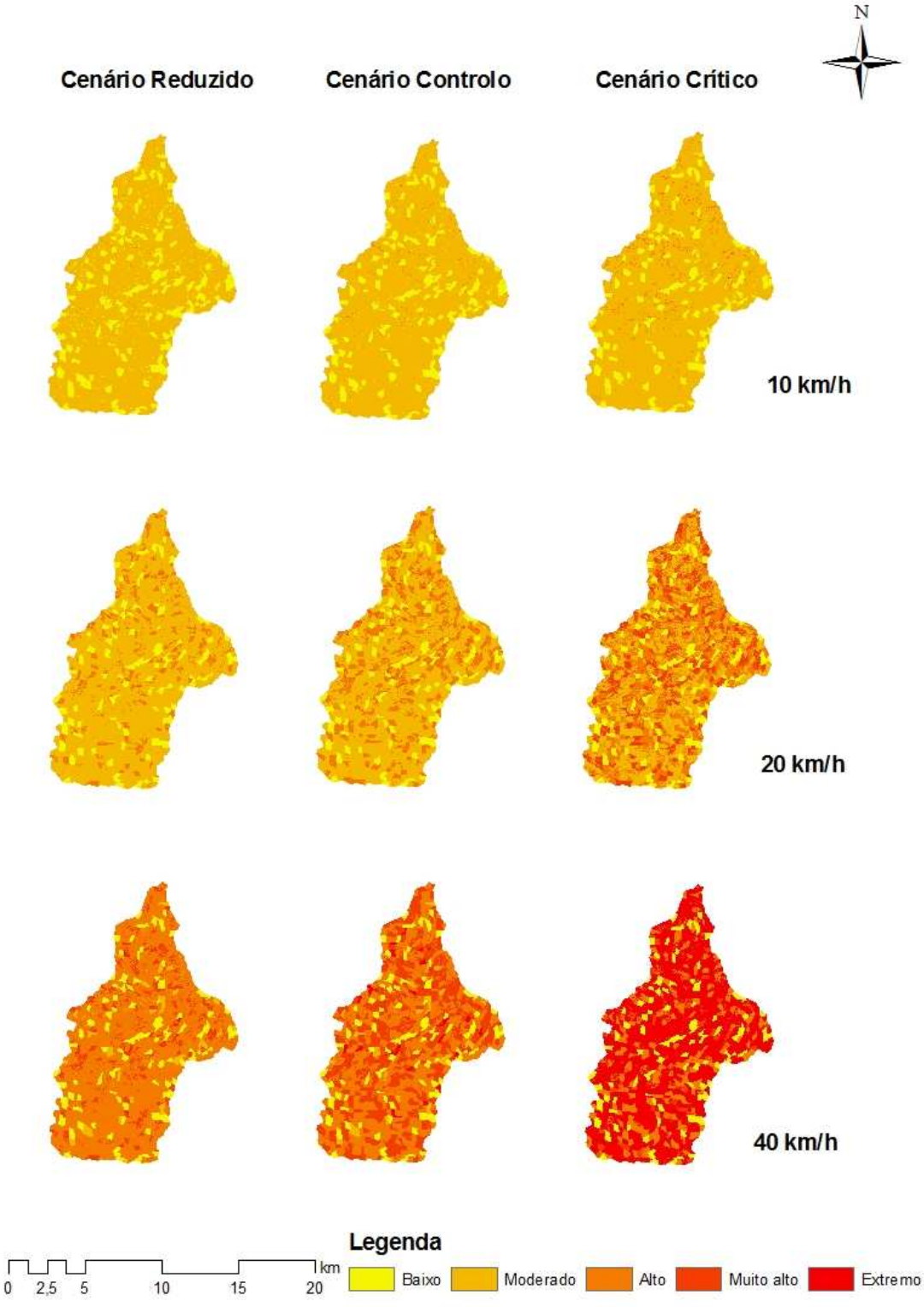
## Anexo 16. MAPAS DE INTENSIDADE DE LINHA DE CHAMA (Kw/m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE



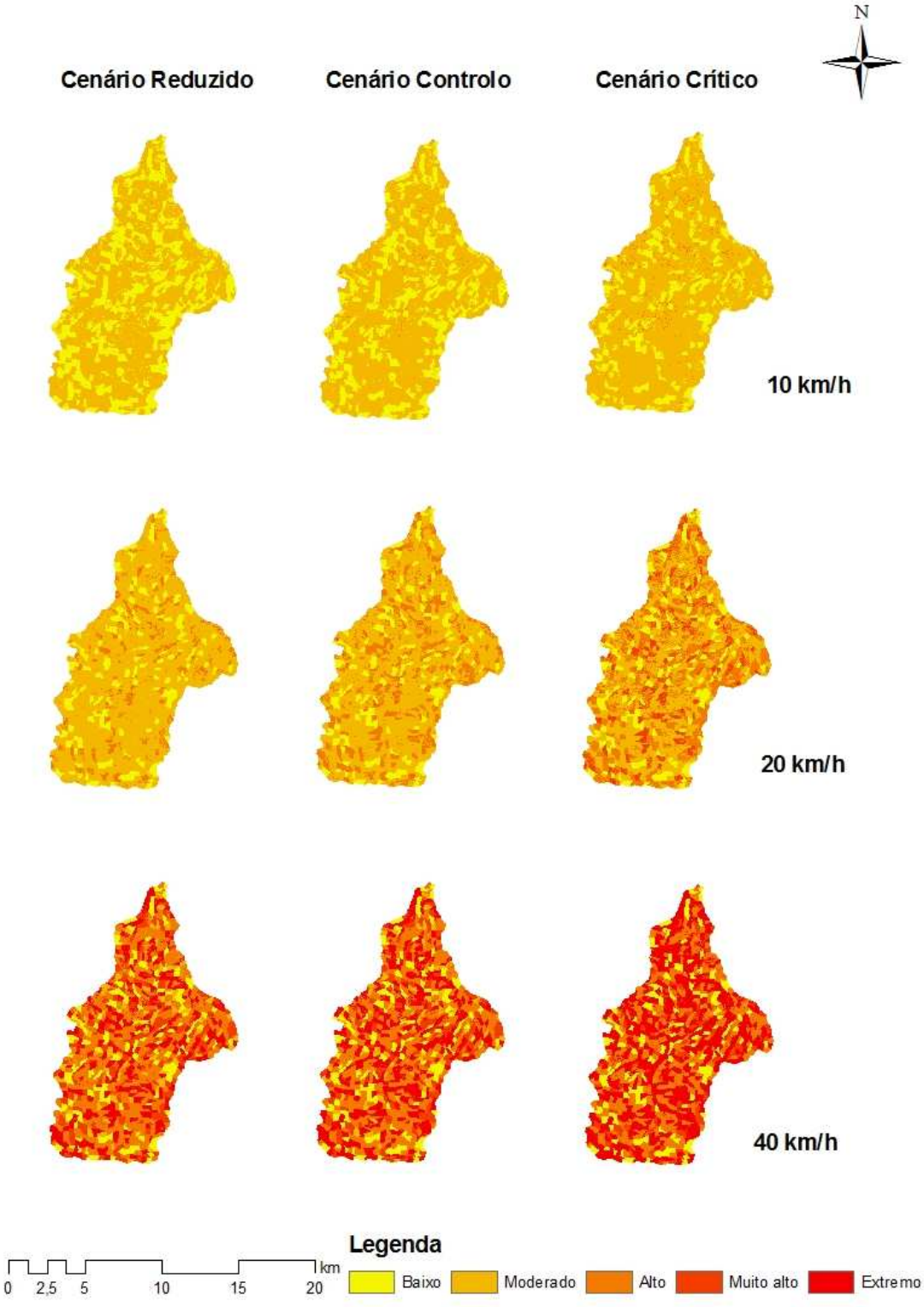
## Anexo 17. MAPAS DE INTENSIDADE DE LINHA DE CHAMA (Kw/m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE



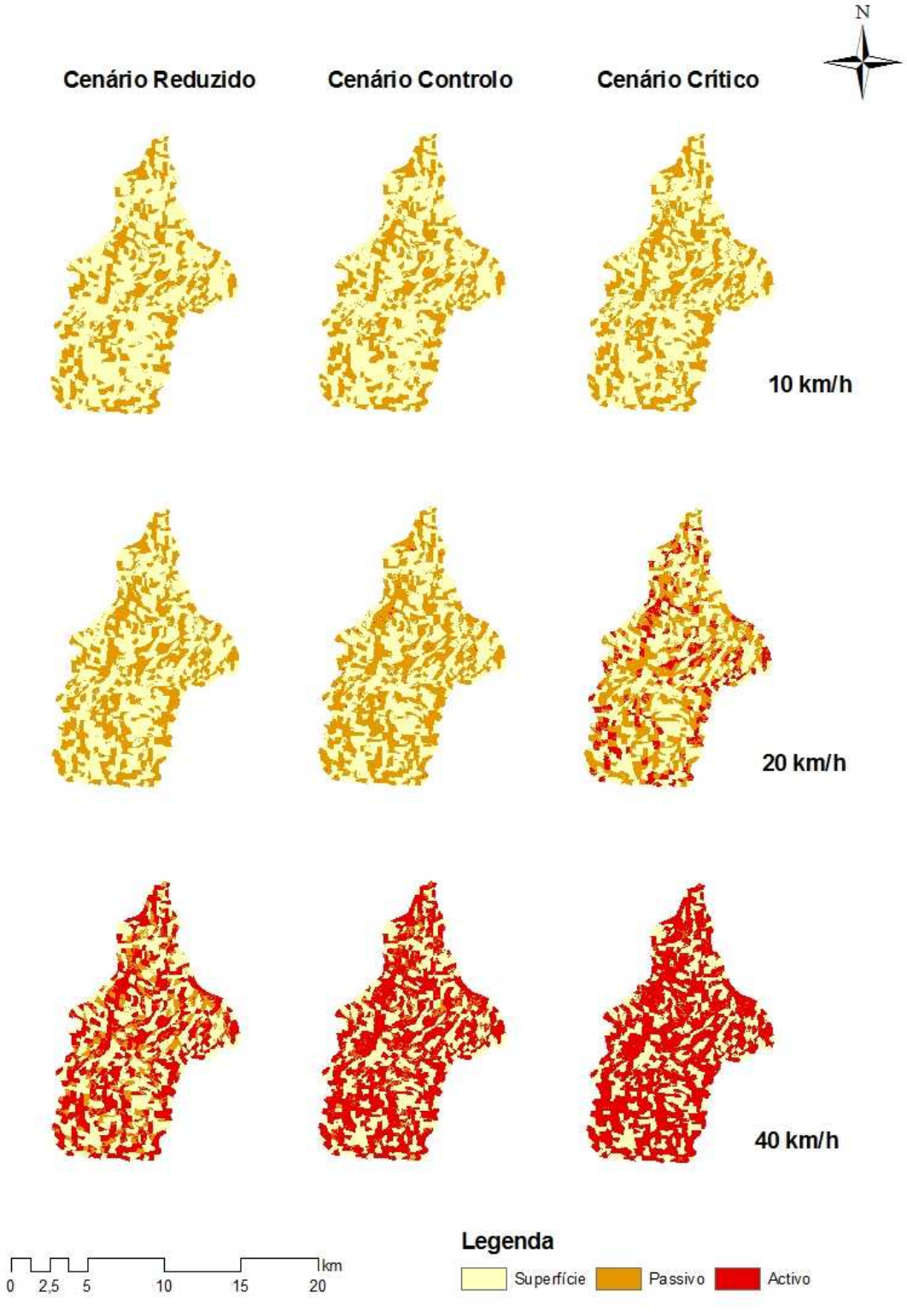
## Anexo 18. MAPAS DE INTENSIDADE DE LINHA DE CHAMA (Kw/m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL



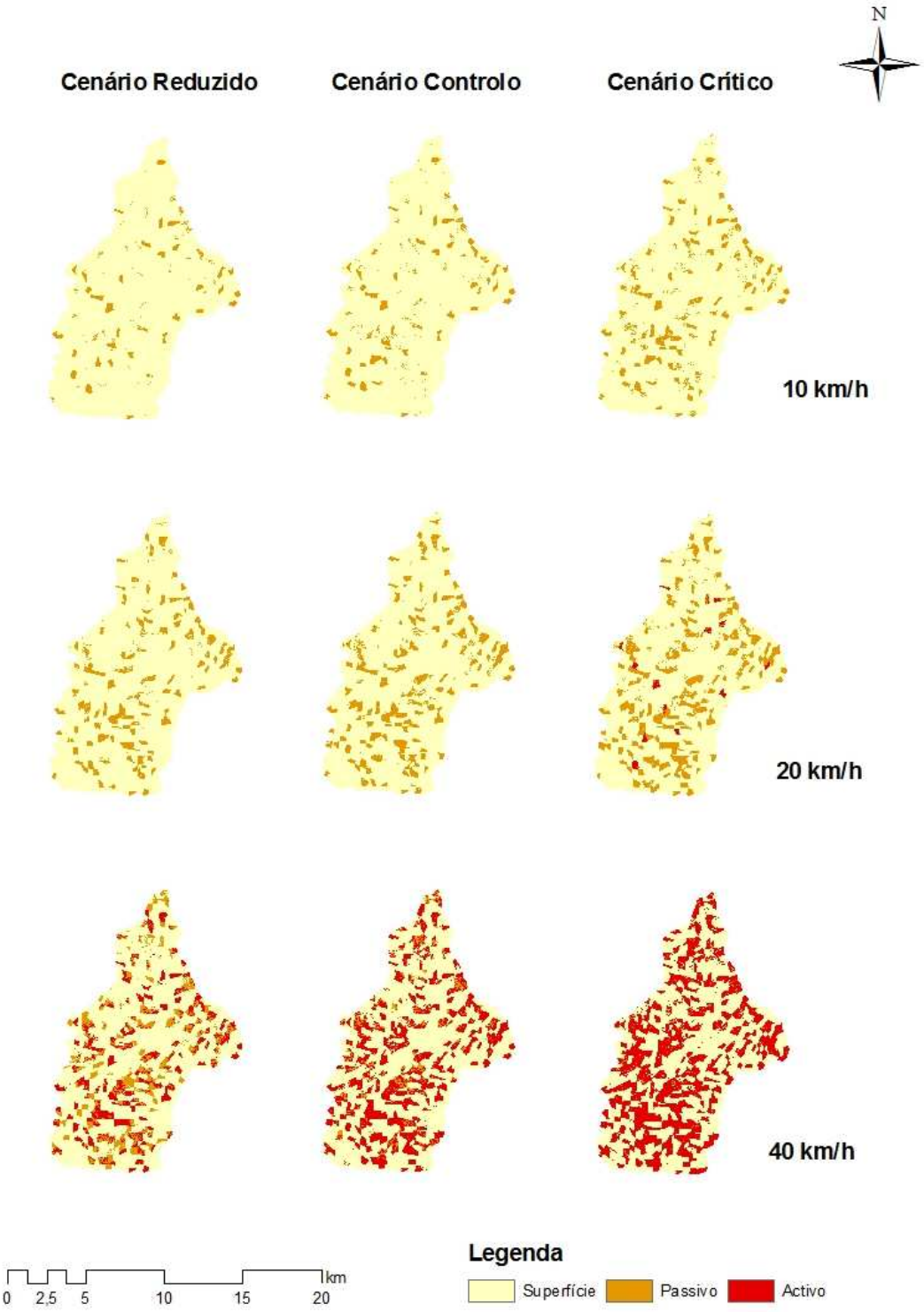
## Anexo 19. MAPAS DE INTENSIDADE DE LINHA DE CHAMA (Kw/m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE



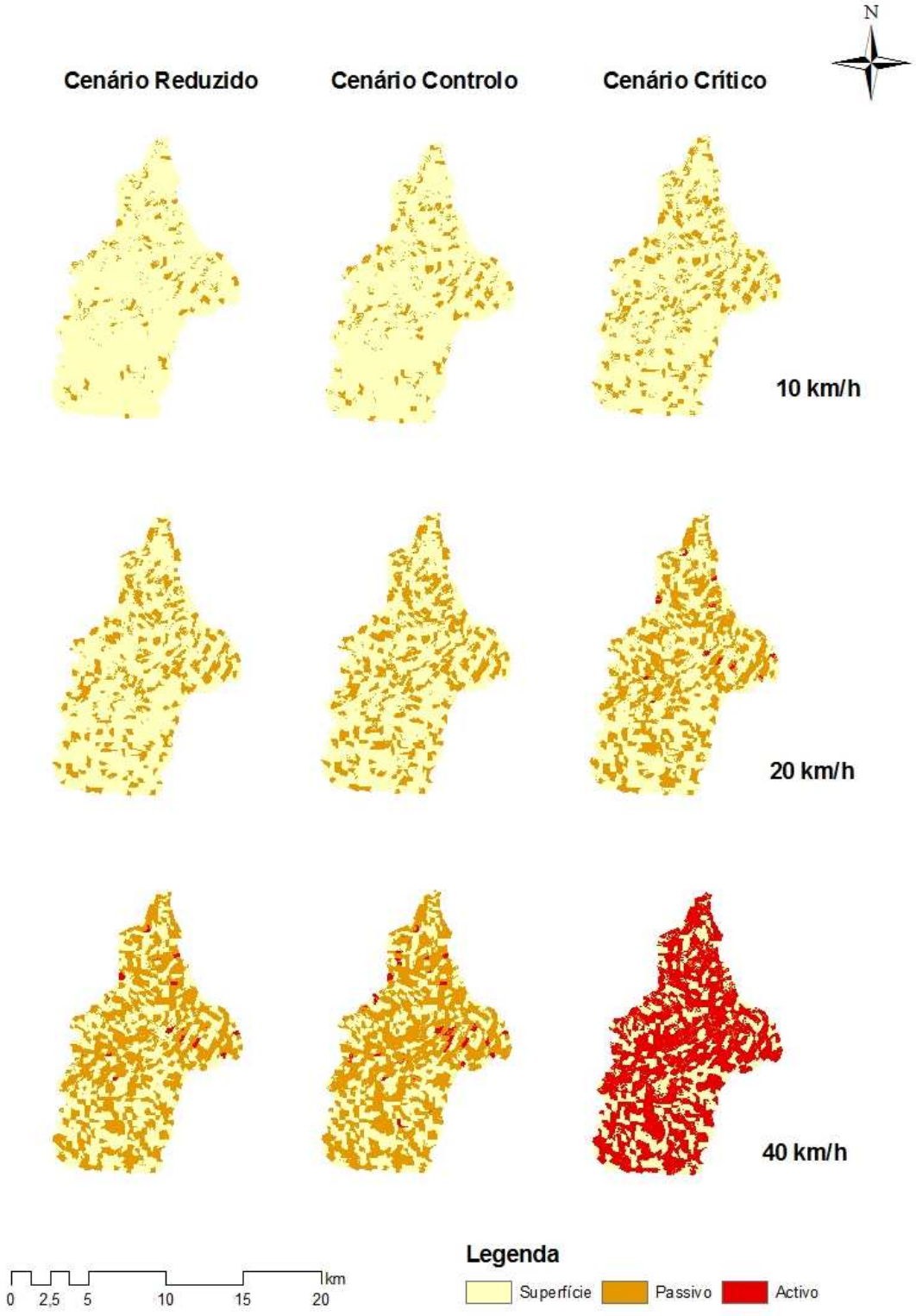
## Anexo 20. MAPAS DE TRANSIÇÃO A FOGO DE COPAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE



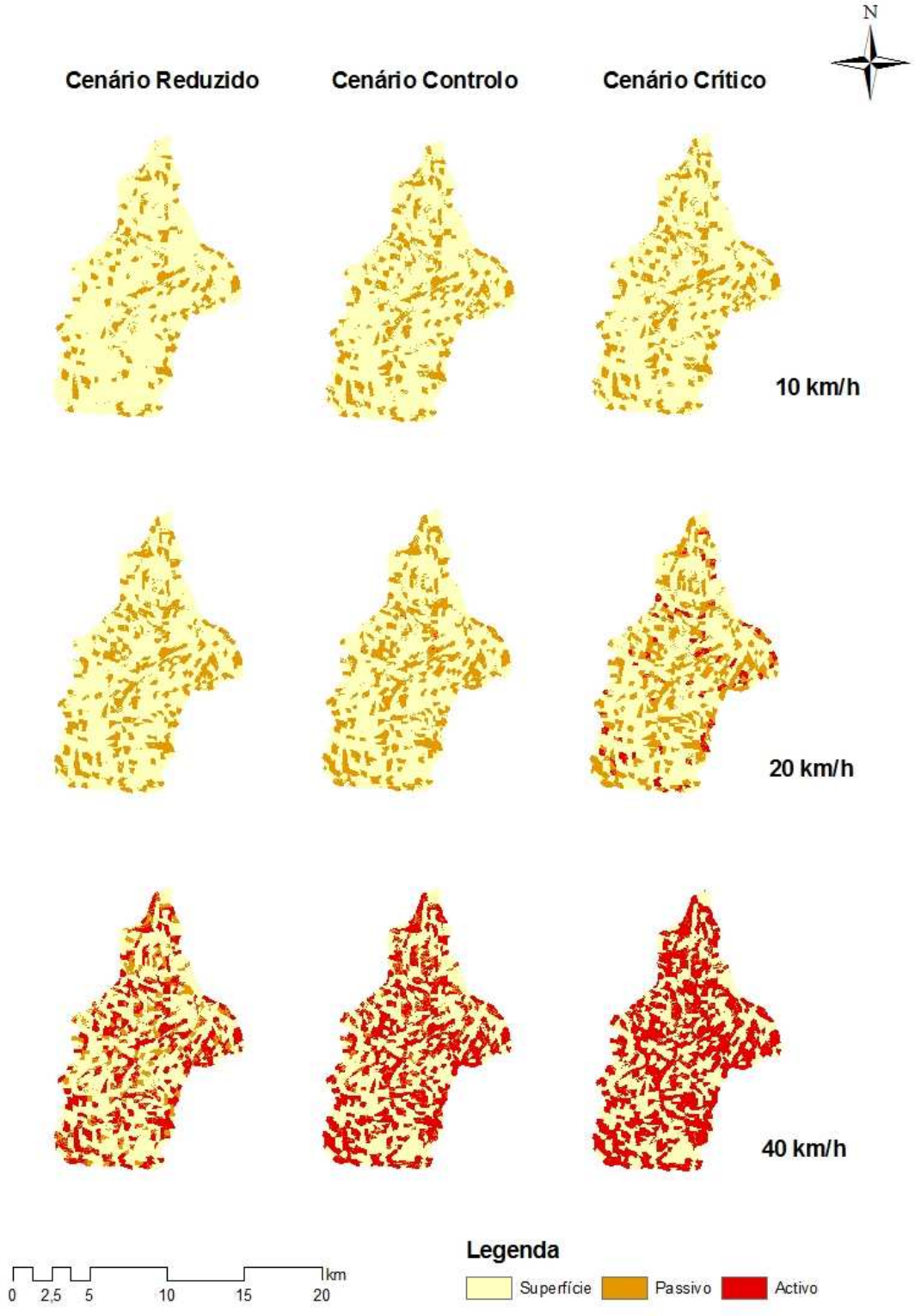
## Anexo 21. MAPAS DE TRANSIÇÃO A FOGO DE COPAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE



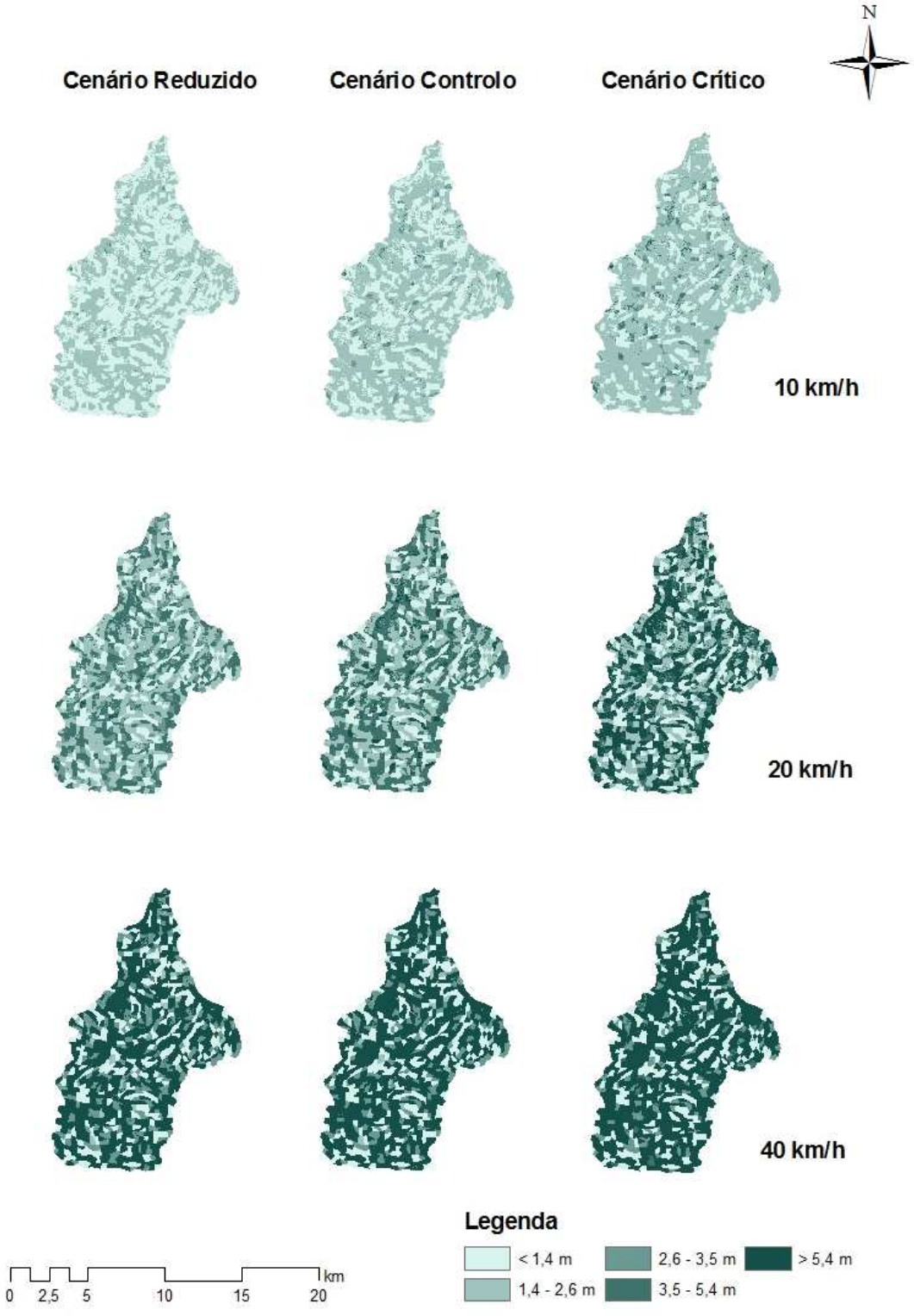
## Anexo 22. MAPAS DE TRANSIÇÃO A FOGO DE COPAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL



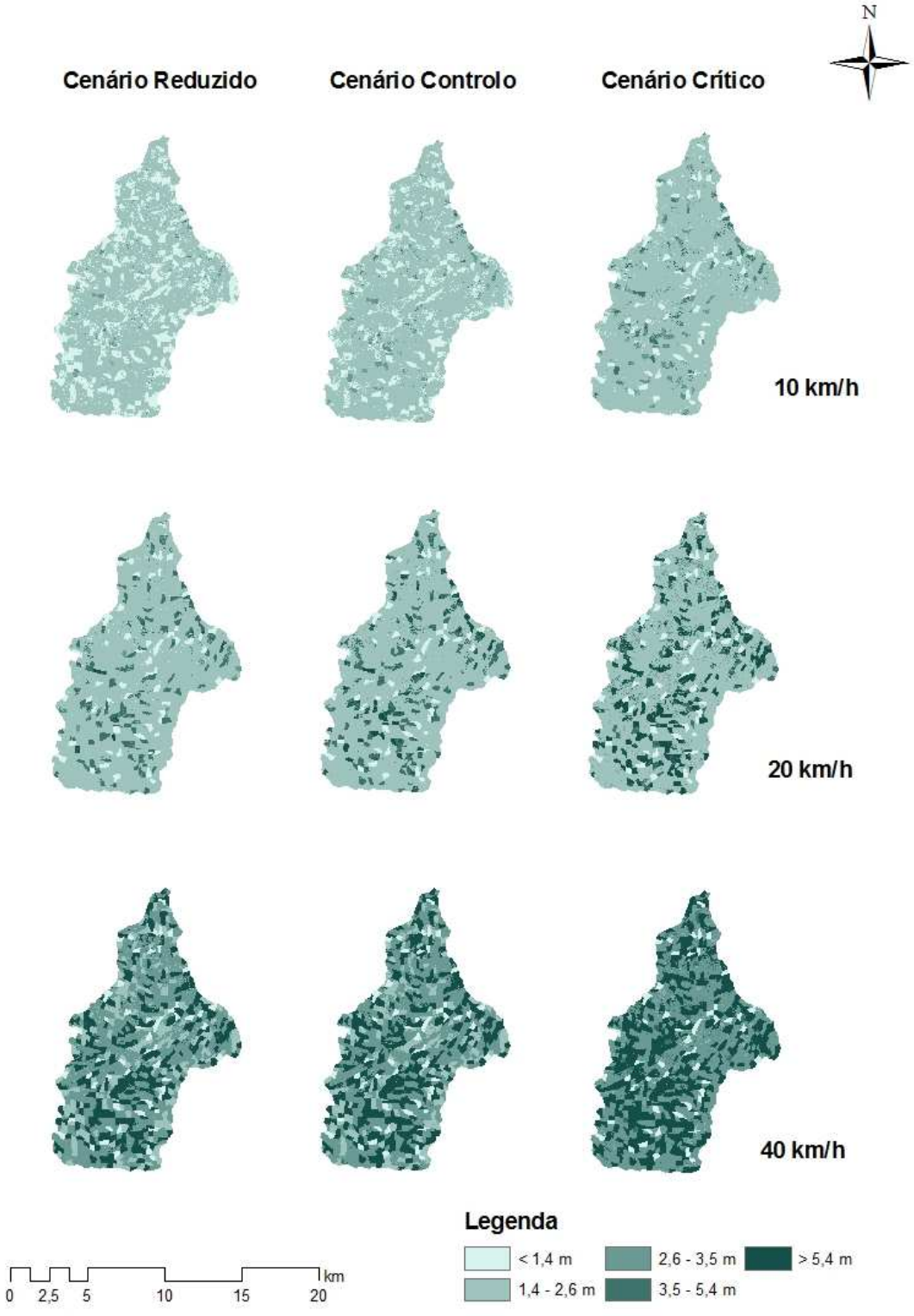
## Anexo 23. MAPAS DE TRANSIÇÃO A FOGO DE COPAS EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE



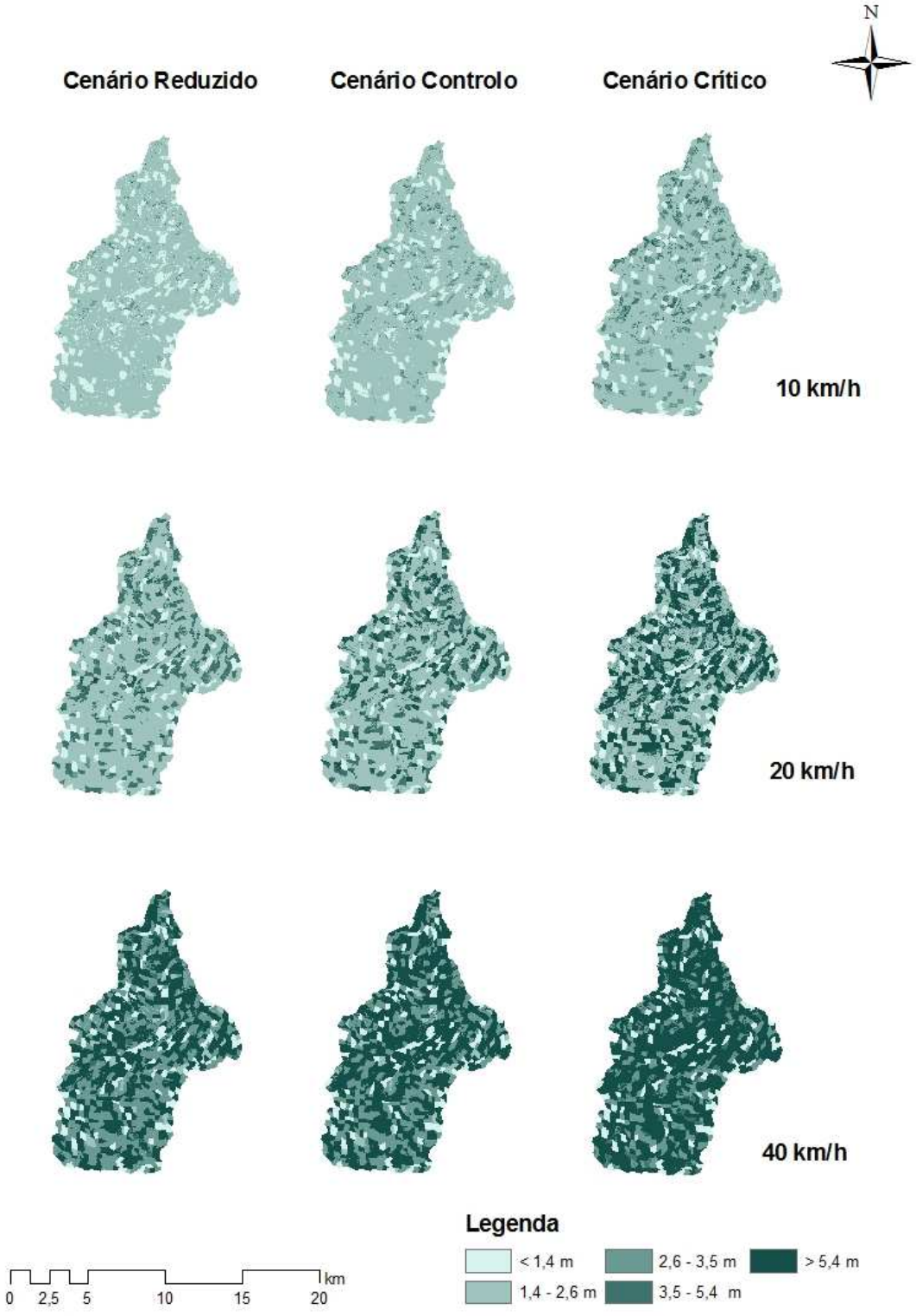
## Anexo 24. MAPAS DE ALTURA DE CHAMA (m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO DECRESCENTE



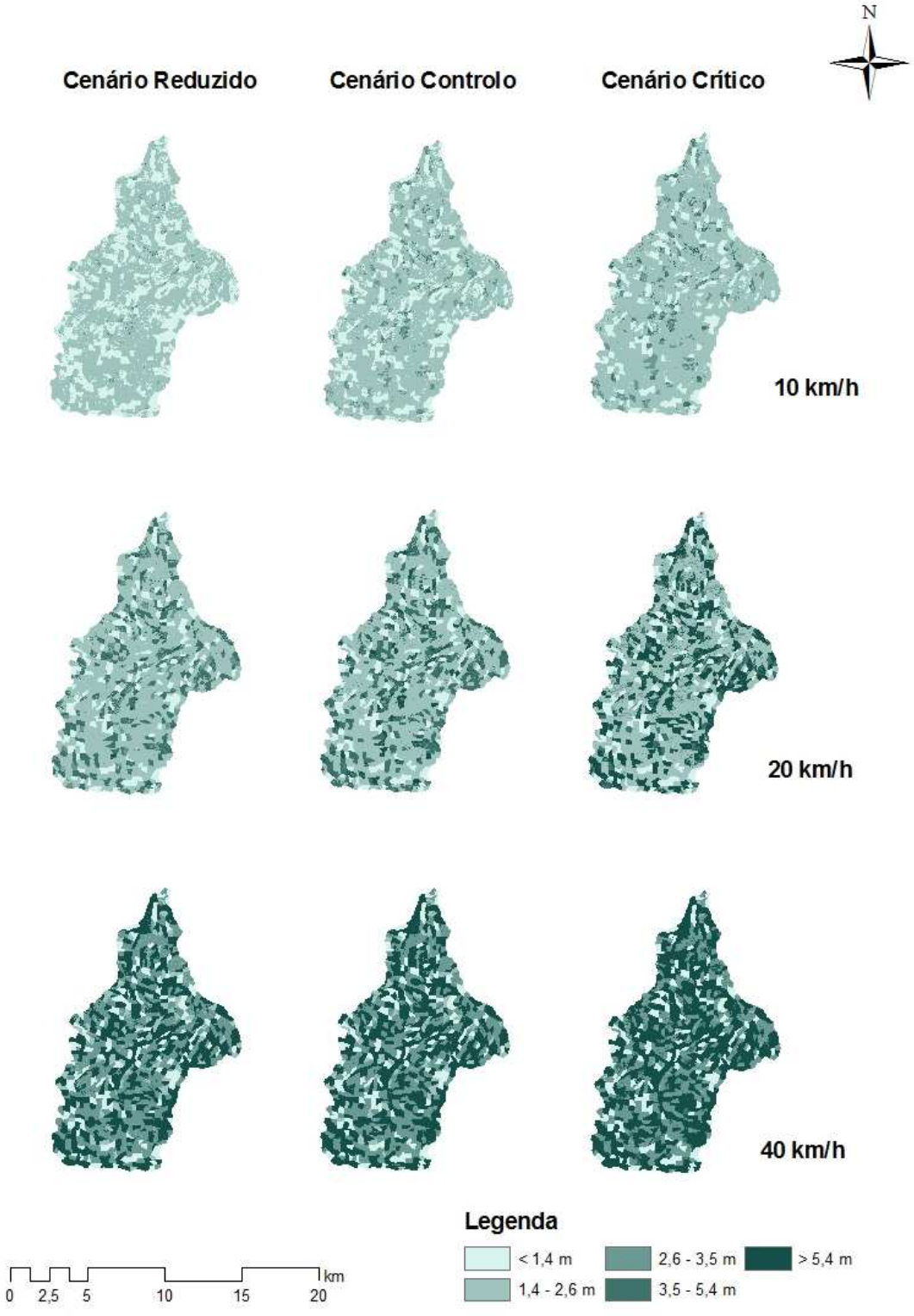
## Anexo 25. MAPAS DE ALTURA DE CHAMA (m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CRESCENTE



## Anexo 26. MAPAS DE ALTURA DE CHAMA (m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO NORMAL



## Anexo 27. MAPAS DE ALTURA DE CHAMA (m) EM FUNÇÃO DE CENÁRIOS METEOROLÓGICOS E DAS VELOCIDADES DO VENTO. DISTRIBUIÇÃO CONSTANTE



## Anexo 28. RESULTADOS OUTPUTS DE CADA DISTRIBUIÇÃO DE IDADE (%)

| ALTURA DA CHAMA (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribuição Classes de Idade | Condições meteorológicas | <1.4 m (%) | 1.4 - 2.6 m (%) | 2.6 - 3.5 m (%) | 3.5 - 5.4 m (%) | > 5.4 m (%) |
| CRESCENTE | 10H_10V | 27,3 | 71,5 | 0,9 | 0,2 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_10V | 98,6 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_10V | 18,2 | 79,5 | 1,7 | 0,5 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_10V | 16,0 | 83,3 | 0,5 | 0,1 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_20V | 6,6 | 80,9 | 2,0 | 9,5 | 1,1 |
| DECRESCENTE | 10H_20V | 98,1 | 1,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_20V | 11,4 | 65,0 | 3,4 | 18,4 | 1,8 |
| CONSTANTE | 10H_20V | 14,6 | 60,0 | 6,3 | 18,2 | 0,9 |
| CRESCENTE | 10H_40V | 6,1 | 20,5 | 46,4 | 0,1 | 26,9 |
| DECRESCENTE | 10H_40V | 57,4 | 42,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_40V | 11,2 | 2,6 | 36,3 | 0,2 | 49,8 |
| CONSTANTE | 10H_40V | 14,3 | 8,6 | 36,5 | 0,1 | 40,5 |
| CRESCENTE | 7H_10V | 18,0 | 78,9 | 2,4 | 0,7 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_10V | 39,6 | 57,5 | 2,3 | 0,6 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_10V | 14,7 | 78,7 | 5,2 | 1,4 | 0,1 |
| CONSTANTE | 7H_10V | 25,9 | 70,5 | 2,7 | 0,8 | 0,1 |
| CRESCENTE | 7H_20V | 6,3 | 77,4 | 1,2 | 10,3 | 4,7 |
| DECRESCENTE | 7H_20V | 23,1 | 30,7 | 2,8 | 37,6 | 5,8 |
| NORMAL | 7H_20V | 11,3 | 58,0 | 1,5 | 19,1 | 10,1 |
| CONSTANTE | 7H_20V | 14,4 | 55,6 | 2,0 | 22,2 | 5,8 |
| CRESCENTE | 7H_40V | 6,1 | 17,8 | 43,6 | 0,1 | 32,4 |
| DECRESCENTE | 7H_40V | 23,0 | 1,7 | 14,0 | 0,0 | 61,3 |
| NORMAL | 7H_40V | 11,2 | 1,6 | 29,8 | 0,1 | 57,3 |
| CONSTANTE | 7H_40V | 14,3 | 7,0 | 32,9 | 0,1 | 45,8 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CRESCENTE | 4H_10V | 7,7 | 84,5 | 4,8 | 2,8 | 0,3 |
| DECRESCENTE | 4H_10V | 26,7 | 65,5 | 4,9 | 2,6 | 0,2 |
| NORMAL | 4H_10V | 11,7 | 72,1 | 9,9 | 5,8 | 0,5 |
| CONSTANTE | 4H_10V | 16,5 | 74,0 | 6,0 | 3,2 | 0,3 |
| CRESCENTE | 4H_20V | 6,2 | 68,1 | 5,7 | 4,8 | 15,2 |
| DECRESCENTE | 4H_20V | 23,0 | 22,1 | 4,0 | 16,3 | 34,6 |
| NORMAL | 4H_20V | 11,2 | 43,0 | 6,6 | 8,4 | 30,8 |
| CONSTANTE | 4H_20V | 14,3 | 46,2 | 5,0 | 9,6 | 24,8 |
| CRESCENTE | 4H_40V | 6,1 | 1,5 | 48,7 | 3,2 | 40,6 |
| DECRESCENTE | 4H_40V | 22,9 | 0,1 | 9,4 | 2,2 | 65,3 |
| NORMAL | 4H_40V | 11,2 | 0,1 | 18,0 | 4,4 | 66,3 |
| CONSTANTE | 4H_40V | 14,3 | 0,7 | 29,5 | 3,2 | 52,4 |

| TAXA DE PROPAGAÇÃO (%) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribuição Classes de Idade | Condições meteorológicas | < 2.2 m/min (%) | 2.2 - 5 m/min (%) | 5 - 9.6 m/min (%) | 9.6 - 13 m/min (%) | 13 - 19.8 m/min (%) | 19.8 - 25.3 m/min (%) | 25.3 - 27.9 m/min (%) | > 27.9 m/min (%) |
| CRESCENTE | 10H_10V | 90,9 | 9,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_10V | 99,9 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_10V | 88,6 | 11,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_10V | 90,4 | 9,5 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_20V | 25,3 | 68,9 | 5,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_20V | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_20V | 14,5 | 76,9 | 8,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_20V | 22,7 | 61,3 | 15,9 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_40V | 3,2 | 23,2 | 47,4 | 1,3 | 4,2 | 18,2 | 2,4 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_40V | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_40V | 7,2 | 6,5 | 37,5 | 2,0 | 7,7 | 35,1 | 4,1 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_40V | 6,0 | 16,7 | 37,4 | 1,2 | 3,6 | 31,0 | 4,0 | 0,0 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CRESCENTE | 7H_10V | 83,9 | 15,8 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_10V | 73,5 | 26,3 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_10V | 79,4 | 20,4 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_10V | 80,4 | 19,4 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 7H_20V | 22,1 | 66,6 | 10,4 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_20V | 24,9 | 35,0 | 30,8 | 9,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_20V | 13,5 | 66,1 | 19,8 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_20V | 20,9 | 55,4 | 20,2 | 3,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 7H_40V | 0,9 | 24,0 | 43,1 | 0,7 | 2,1 | 2,3 | 20,1 | 6,8 |
| DECRESCENTE | 7H_40V | 2,9 | 21,8 | 14,2 | 0,6 | 1,8 | 2,8 | 43,7 | 12,1 |
| NORMAL | 7H_40V | 2,1 | 10,9 | 30,2 | 0,9 | 3,2 | 4,4 | 37,2 | 11,0 |
| CONSTANTE | 7H_40V | 1,6 | 20,2 | 32,8 | 0,6 | 2,0 | 2,4 | 31,2 | 9,2 |
| CRESCENTE | 4H_10V | 62,2 | 37,2 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 4H_10V | 42,3 | 57,2 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 4H_10V | 41,6 | 57,6 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 4H_10V | 52,6 | 46,8 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 4H_20V | 10,6 | 70,5 | 16,6 | 2,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 4H_20V | 23,5 | 26,7 | 28,9 | 20,3 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 4H_20V | 12,0 | 51,7 | 34,1 | 2,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 4H_20V | 16,5 | 50,2 | 25,0 | 8,1 | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 4H_40V | 0,1 | 20,9 | 38,5 | 0,4 | 0,7 | 0,5 | 0,0 | 38,9 |
| DECRESCENTE | 4H_40V | 0,3 | 24,2 | 10,3 | 0,2 | 0,6 | 0,5 | 0,0 | 63,9 |
| NORMAL | 4H_40V | 0,2 | 12,4 | 21,2 | 0,5 | 1,1 | 0,8 | 0,0 | 63,7 |
| CONSTANTE | 4H_40V | 0,2 | 20,2 | 27,3 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0,0 | 50,8 |

| INTENSIDADE LINHA DE CHAMA (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Distribuição Classes de Idade | Condições meteorológicas | <500 kW/m (%) | 500 - 2000 kW/m (%) | 2000 - 4000 kW/m (%) | 4000 - 10000 kW/m (%) | > 10000 kW/m (%) |
| CRESCENTE | 10H_10V | 24,8 | 75,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_10V | 97,9 | 2,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_10V | 17,1 | 82,7 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_10V | 34,6 | 65,3 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_20V | 6,4 | 87,3 | 6,1 | 0,1 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_20V | 72,3 | 27,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_20V | 11,3 | 76,8 | 11,7 | 0,2 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_20V | 14,5 | 75,7 | 9,7 | 0,1 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_40V | 6,1 | 19,7 | 47,9 | 6,6 | 19,7 |
| DECRESCENTE | 10H_40V | 57,4 | 42,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_40V | 11,2 | 2,2 | 37,5 | 8,8 | 40,3 |
| CONSTANTE | 10H_40V | 14,3 | 8,1 | 37,6 | 17,1 | 22,9 |
| CRESCENTE | 7H_10V | 12,3 | 87,3 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_10V | 52,8 | 46,9 | 0,3 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_10V | 14,5 | 84,8 | 0,7 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_10V | 28,4 | 71,2 | 0,5 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 7H_20V | 6,2 | 80,6 | 12,6 | 0,6 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_20V | 23,1 | 45,1 | 31,4 | 0,4 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_20V | 11,2 | 64,0 | 23,6 | 1,2 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_20V | 14,4 | 63,8 | 21,2 | 0,6 | 0,0 |
| CRESCENTE | 7H_40V | 6,1 | 16,5 | 45,1 | 5,0 | 27,2 |
| DECRESCENTE | 7H_40V | 23,0 | 1,6 | 14,3 | 33,4 | 27,7 |
| NORMAL | 7H_40V | 11,2 | 1,5 | 30,3 | 5,5 | 51,5 |
| CONSTANTE | 7H_40V | 14,3 | 6,5 | 33,6 | 14,9 | 30,7 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CRESCENTE | 4H_10V | 8,0 | 90,0 | 1,9 | 0,1 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 4H_10V | 35,2 | 63,4 | 1,4 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 4H_10V | 12,7 | 84,2 | 2,9 | 0,1 | 0,0 |
| CONSTANTE | 4H_10V | 20,1 | 77,9 | 2,0 | 0,1 | 0,0 |
| CRESCENTE | 4H_20V | 6,2 | 64,9 | 20,9 | 8,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 4H_20V | 23,0 | 20,7 | 48,0 | 8,2 | 0,0 |
| NORMAL | 4H_20V | 11,2 | 37,5 | 34,3 | 17,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 4H_20V | 14,3 | 44,1 | 31,6 | 10,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 4H_40V | 6,1 | 0,9 | 49,7 | 5,1 | 38,2 |
| DECRESCENTE | 4H_40V | 22,9 | 0,1 | 9,6 | 20,2 | 47,2 |
| NORMAL | 4H_40V | 11,2 | 0,1 | 18,5 | 6,2 | 64,1 |
| CONSTANTE | 4H_40V | 14,2 | 0,5 | 30,1 | 9,6 | 45,6 |

CALOR LIBERTADO POR UNIDADE DE ÁREA (%)

| Distribuição Classes de Idade | Condições meteorológicas | < 10000 kJ/m$^2$ (%) | 10000 - 20000 kJ/m$^2$ (%) | 20000 - 30000 kJ/m$^2$ (%) | 30000 - 40000 kJ/m$^2$ (%) | 40000 - 50000 kJ/m$^2$ (%) | > 50000 kJ/m$^2$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CRESCENTE | 10H_10V | 7,5 | 1,7 | 90,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_10V | 55,8 | 0,0 | 44,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_10V | 12,8 | 1,3 | 85,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_10V | 20,7 | 7,3 | 72,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_20V | 6,1 | 3,0 | 90,2 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_20V | 55,8 | 0,0 | 44,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_20V | 11,2 | 2,9 | 84,8 | 1,2 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_20V | 14,4 | 13,6 | 71,5 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_40V | 6,1 | 2,0 | 69,7 | 13,2 | 9,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_40V | 55,8 | 0,0 | 44,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_40V | 11,2 | 1,3 | 42,6 | 25,9 | 19,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_40V | 14,3 | 8,0 | 52,3 | 14,6 | 10,9 | 0,0 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CRESCENTE | 7H_10V | 6,6 | 2,6 | 90,7 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_10V | 28,1 | 27,7 | 44,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_10V | 11,6 | 2,4 | 85,5 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_10V | 16,5 | 11,5 | 71,8 | 0,2 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 7H_20V | 6,1 | 3,0 | 83,9 | 6,9 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_20V | 23,1 | 32,7 | 37,5 | 6,7 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_20V | 11,2 | 2,9 | 70,7 | 15,2 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_20V | 14,3 | 13,7 | 63,4 | 8,6 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 7H_40V | 6,1 | 1,6 | 63,6 | 5,4 | 23,4 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_40V | 23,0 | 18,7 | 30,3 | 4,0 | 24,0 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_40V | 11,2 | 1,1 | 34,1 | 7,9 | 45,7 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_40V | 14,3 | 6,5 | 47,7 | 5,2 | 26,3 | 0,0 |
| CRESCENTE | 4H_10V | 6,3 | 2,9 | 85,1 | 5,8 | 0,0 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 4H_10V | 24,9 | 30,9 | 38,7 | 5,5 | 0,0 | 0,0 |
| NORMAL | 4H_10V | 11,4 | 2,7 | 73,2 | 12,7 | 0,0 | 0,0 |
| CONSTANTE | 4H_10V | 15,1 | 12,9 | 65,0 | 7,0 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 4H_20V | 6,1 | 3,0 | 74,2 | 16,6 | 0,1 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 4H_20V | 23,0 | 32,8 | 25,5 | 18,6 | 0,1 | 0,0 |
| NORMAL | 4H_20V | 11,2 | 2,9 | 50,2 | 35,6 | 0,1 | 0,0 |
| CONSTANTE | 4H_20V | 14,3 | 13,7 | 51,2 | 20,8 | 0,0 | 0,0 |
| CRESCENTE | 4H_40V | 6,1 | 1,6 | 54,8 | 1,4 | 34,9 | 1,1 |
| DECRESCENTE | 4H_40V | 22,9 | 18,7 | 25,9 | 1,1 | 29,4 | 1,9 |
| NORMAL | 4H_40V | 11,2 | 1,1 | 24,3 | 2,1 | 59,0 | 2,2 |
| CONSTANTE | 4H_40V | 14,3 | 6,5 | 40,7 | 1,3 | 36,2 | 1,2 |

| TIPO DE FOGO (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Distribuição Classes de Idade | Condições meteorológicas | SUPERFÍCIE (%) | PASSIVO (%) | ACTIVO (%) |
| CRESCENTE | 10H_10V | 95,2 | 4,8 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_10V | 67,1 | 32,9 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_10V | 93,5 | 6,5 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_10V | 84,5 | 15,5 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_20V | 87,5 | 12,5 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 10H_20V | 67,0 | 33,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_20V | 76,5 | 23,5 | 0,0 |
| CONSTANTE | 10H_20V | 74,1 | 25,8 | 0,0 |
| CRESCENTE | 10H_40V | 73,0 | 13,4 | 13,6 |
| DECRESCENTE | 10H_40V | 67,0 | 33,0 | 0,0 |
| NORMAL | 10H_40V | 50,1 | 26,1 | 23,8 |
| CONSTANTE | 10H_40V | 59,4 | 14,0 | 26,5 |
| CRESCENTE | 7H_10V | 93,7 | 6,3 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_10V | 64,1 | 35,9 | 0,0 |
| NORMAL | 7H_10V | 89,8 | 10,2 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_10V | 82,5 | 17,5 | 0,0 |
| CRESCENTE | 7H_20V | 84,5 | 15,5 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 7H_20V | 53,6 | 46,1 | 0,3 |
| NORMAL | 7H_20V | 70,1 | 29,9 | 0,0 |
| CONSTANTE | 7H_20V | 70,4 | 29,5 | 0,1 |
| CRESCENTE | 7H_40V | 67,6 | 6,0 | 26,5 |
| DECRESCENTE | 7H_40V | 38,7 | 6,2 | 55,1 |
| NORMAL | 7H_40V | 42,7 | 10,2 | 47,2 |
| CONSTANTE | 7H_40V | 54,2 | 5,9 | 39,9 |

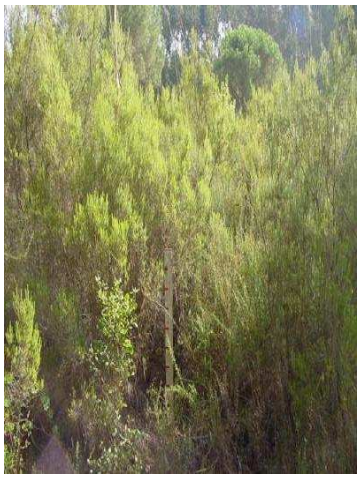
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| CRESCENTE | 4H_10V | 89,8 | 10,2 | 0,0 |
| DECRESCENTE | 4H_10V | 60,3 | 39,7 | 0,0 |
| NORMAL | 4H_10V | 81,5 | 18,5 | 0,0 |
| CONSTANTE | 4H_10V | 77,4 | 22,6 | 0,0 |
| CRESCENTE | 4H_20V | 79,9 | 18,8 | 1,4 |
| DECRESCENTE | 4H_20V | 48,2 | 36,8 | 15,1 |
| NORMAL | 4H_20V | 60,7 | 38,5 | 0,9 |
| CONSTANTE | 4H_20V | 65,1 | 29,6 | 5,3 |
| CRESCENTE | 4H_40V | 59,4 | 1,7 | 38,9 |
| DECRESCENTE | 4H_40V | 34,7 | 1,5 | 63,9 |
| NORMAL | 4H_40V | 33,7 | 2,6 | 63,7 |
| CONSTANTE | 4H_40V | 47,6 | 1,5 | 50,8 |

# Anexo 29. FOTOGRAFIAS DOS MODELOS DE COMBUSTÍVEL

PAULO FERNANDES

| M-EUCd | M-EUC | V-MAb |
|---|---|---|
| | | |

M. G. CRUZ

| EUC-01 | EUC-03 | MAT-03 |
|---|---|---|
| | |  |